9.

ÜBER DIE

# AKKOMMODATION DES AUGES DER TAUBE

NEBST

## BEMERKUNGEN ÜBER DIE AKKOMMODATION DES AFFEN (MACACUS CYNOMOLGUS) UND DES MENSCHEN.

VON

DR. MED. ALBERT v. PFLUGK,
AUGENARZT IN DRESDEN.

MIT 19 ABBILDUNGEN IM TEXTE UND 3 TAFELN.

WIESBADEN.
VERLAG VON J. F. BERGMANN.
1906.

Druck der Kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.

# Inhalts-Übersicht.

# Einleitung.

„Wir würden am besten über den ganzen Vorgang der Akkommodation eine definitive Vorstellung erlangen, wenn sich Durchschnitte in situ vom akkommodierten sowie ruhenden Auge gewinnen liessen“ schrieben im Jahre 1868 Hensen und Voelckers[1]) in ihrer klassischen Arbeit: Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Akkommodation. Hoch gingen damals die Wogen des Kampfes über die physiologische Deutung der im Auge während der Akkommodation sich abspielenden Vorgänge. Eine kurze Reihe von Jahren war vergangen, seit Helmholtz (1851) durch die Veröffentlichung seines Augenspiegels den Ärzten den Weg zur Kenntnis des Augeninneren gezeigt hatte. Albrecht v. Graefe († 1870), der Begründer der modernen Augenheilkunde, hatte mit scharfem Blick sofort die enorme Bedeutung des unscheinbaren Instrumentes erkannt und „arbeitete mit Feuereifer Tag und Nacht“ [2]).

„Unter unseren Augen sehen wir den Nebel zerfliessen, der Jahrhundertelang die besten Forscher in ihrer Einsicht umfing und dank der frühzeitigen Erkenntnis ist für die Therapie ein ungeahntes Feld gewonnen, von dem wir jetzt schon nach wenigen Jahren schöne Früchte beizubringen imstande sind.“ (Albrecht v. Graefe Vorwort zum ersten Band des Archivs für Ophthalmologie 1854) [3]).

Ungefähr um die Zeit der Helmholtzschen Begründung und Bekanntwerdung der Theorie des Augenspiegels fallen die ersten Veröffentlichungen über den objektiven Nachweis der Gestaltsveränderungen der Linse bei der Akkommodation. Langenbeck[4]) (1849), Cramer[5]) (1851) und Helmholtz (1853) fanden unabhängig voneinander die gleiche Tatsache, nachdem schon 50 Jahre vorher Th. Joung[6]) (1801)

den Beweis erbracht hatte, dass die akkommodativen Veränderungen des Auges sich in der Linse abspielen müssen. Das Jahr 1854 brachte die ausführliche Arbeit von Helmholtz [7]): „Über die Akkommodation des menschlichen Auges“ mit der Darstellung seiner Akkommodationstheorie. Wenige Jahre später (1856 bis 1867) erschien die erste Auflage des monumentalen Werkes: Handbuch der physiologischen Optik, ein Werk echt deutschen Gelehrtenfleisses und unerreicht von irgend einem Werk fremder Nationen. (Nach Helmholtz' Tod 1894 2. Auflage herausgegeben von Arthur König) [8]).

Nur mühsam hat sich im Lauf langer Jahre die Helmholtz'sche Anschauung über das Zustandekommen der akkommodativen Veränderungen des Auges Bahn gebrochen; bald nach ihrer Veröffentlichung entdeckte Heinrich Müller [9]) (1857) den nach ihm benannten Ringmuskel *) im Ciliarkörper des Menschen und erklärte ihn entgegen der Helmholtzschen Auffassung als „hauptsächlichsten Faktor für die Formveränderung der Linse“. (Über Heinrich Müllers Auffassung dieses Muskels als Compressor lentis s. Seite 39, Nr. 3.) Coccius [10]) nahm in seiner Akkommodationstheorie einen vermittelnden Standpunkt ein, indem er die Zonula durch die Kontraktion des Ciliarmuskels vorrücken, aber nicht erschlaffen liess. Den vollsten Gegensatz zu Helmholtz, der wie wir später ausführlich sehen werden, die akkommodative Formveränderung der Linse auf Entspannung der Zonula zurückführt, finden wir in der kurzen Arbeit von Mannhardt [11]) (1858), der die Wirkung des Akkommodationsmuskels darin sieht, dass er: „auf Corpus ciliare und zonula einen Druck ausübt und letztere gespannt wird. Der Endeffekt ist die Vorwölbung der Linse.“

Mit vollem Recht schreibt daher Helmholtz in seinem Handbuch der physiologischen Optik: „Über keinen Gegenstand der physiologischen Optik sind soviel widersprechende Ansichten aufgestellt worden, als über die Akkommodation des Auges, weil erst in neuerer Zeit entscheidende Beobachtungstatsachen gefunden wurden und man bis dahin nur einem Spiel von Hypothesen überlassen gewesen war.“

Noch Donders [12]) konnte sich i. J. 1866 nicht entschliessen, zu den herrschenden Akkommodationstheorien Stellung zu nehmen, sondern schrieb: „gegen beide (scil. Akkommodationstheorien H. Müller und Helmholtz) habe ich Bedenken“.

---

*) In der ersten Helmholtzschen ausführlichen Veröffentlichung [7]) ist die Akkommodationstheorie ohne Mitwirkung dieses Müller'schen Ringmuskels dargestellt.

Nach und nach aber verstummten die Gegner von Helmholtz und der Kampf um die Akkommodation schien zu seinen Gunsten entschieden zu werden, als 1885 Wilhelm Schoen[13]) auf Grund seiner durchaus selbständigen Forschung mit vollster Energie sich gegen die Helmholtzsche Theorie aussprach und sich für „vermehrte Spannung des vorderen Aufhängebandes (der Linse) des äusseren Zonulablattes“ bei der menschlichen Akkommodation aussprach.

In den letzten Jahren (seit 1892) ist besonders Tscherning-Paris als Vertreter der Akkommodation durch vermehrte Zonulaspannung vorgetreten, wie wir gleich sehen werden weicht er aber in der von ihm aufgestellten Akkommodationstheorie wesentlich von Schoen ab, beide stimmen eigentlich nur in dem einen Punkt überein, dass sie die Spannung der Zonula während der Akkommodation fordern. Der bedeutendste jetzt lebende Vertreter der Helmholtzschen Theorie ist ohne Frage C. Hess in Würzburg, der in einer Reihe von Aufsätzen: Arbeiten aus dem Gebiet der Akkommodationslehre — versucht, mit erstaunlicher Literaturkenntnis und unter vollster Ausnutzung aller modernen technischen Hilfsmittel die Helmholtzsche Theorie zu halten. Besonders seine grosse Arbeit in der Neuauflage des Handbuches der Augenheilkunde von Graefe-Saemisch: „Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation“ ist ein Muster von Klarheit der Darstellung[14]).

Der Entdeckung der Akkommodationsmuskeln im Vogelauge Crampton (1815 nach Leuckart 1824) folgte erst nach langen Jahren eine Deutung der physiologischen Wirkung derselben. Heinrich Müller[9]) schrieb, wie wir schon oben gesehen haben, der Ringmuskulatur, die er bei den Vögeln in der Iriswurzel gefunden hatte, grossen Einfluss auf die Akkommodation zu*), erst Exner[15]) trat 1882 voll für die Gültigkeit der Helmholtzschen Theorie bei der Akkommodation des Vogelauges ein: „Immer dient der in Rede stehende Muskelapparat des Vogelauges dazu, die Aufhängebänder abzuspannen und so zu ermöglichen, dass die Linse sich ihrer Gleichgewichtslage nähere“ p. 9. Nach ihm ist vor allem Beer[16]) zu nennen, der die Helmholtzsche Theorie als Erklärung der Akkommodation für alle höheren Wirbeltiere von den Reptilien bis zum Menschen beansprucht.

---

*) Vgl. dazu sowie über den Parallelismus dieses Muskels mit dem Müllerschen Ringmuskel im Ciliarmuskel des Menschen (Lit. 9) pag. 28 Anmerkung!

Bis jetzt ist m. W. gegen diese von Beer präzisierte Anschauung noch von keiner Seite für das Tierreich Stellung genommen worden, während wir beim Menschen, als Gegner der Helmholtzschen Anschauungen eine ganze Reihe von Namen (Heinrich Müller, Mannhardt, Coccius, W. Schoen, Tscherning u. a.) finden; ich glaube deshalb, dass es nicht uninteressant ist, an der Hand der von den Gegnern der Helmholtzschen Theorie vorgebrachten Einwände, die Akkommodation bei den Tieren zu prüfen unter Berücksichtigung der reichlich in der Literatur veröffentlichten Beobachtungen.

Ich habe als Mittelpunkt meiner Arbeit das Auge der Taube gewählt und zwar aus mehreren Gründen:

1. ist es ein jederzeit leicht zu beschaffendes Untersuchungsobjekt,
2. sind gerade über das Taubenauge eine Anzahl Angaben in der Literatur leicht zugänglich und
3. kann man das Taubenauge durch seinen Bau gewissermassen als Muster des Vogelauges, insbesondere aber die Linse der Taube als den Bau der Vogellinsen repräsentierend betrachten.

   (Rabl[17]) p. 333 „wie ich überhaupt die Taubenlinse als Paradigma der Vogellinse behandeln möchte“.)

Bevor ich jedoch näher auf den Bau und die Akkommodation des Taubenauges eingehen kann, will ich kurz einen Überblick geben, über die drei jetzt am lebhaftesten besprochenen Theorien zur Erklärung des Akkommodationsmechanismus. Ich habe aus Gründen der Billigkeit und Einfachheit folgende Arbeiten zugrunde gelegt:

Helmholtzs Theorie: Handbuch der physiologischen Optik, 2. Aufl. 1896[8]).

W. Schoens Theorie: Funktionskrankheiten des Auges 1893[18]) und Archives d'ophtalmologie février 1901: L'accommodation dans l'oeil humain[19]).

Tscherning s Theorie: Optique physiologique 1898[20]) und Dioptrique oculaire 1904[21]).

## Helmholtz.

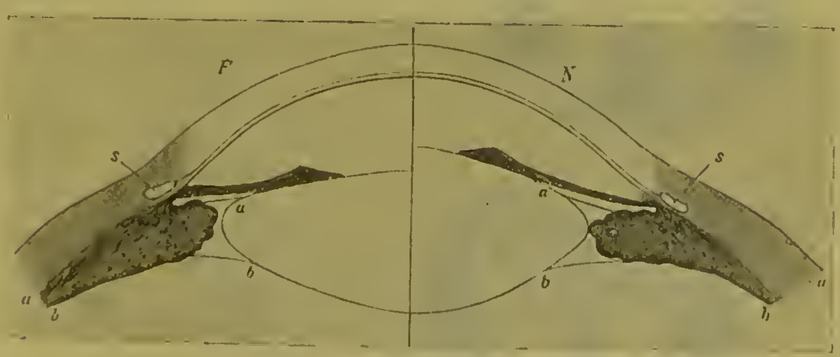
Die Kristalllinse ist ein elastischer Körper, der bei Entspannung der inneren Augenmuskeln durch den Zug der an ihrem Rand sich anheftenden Zonula in radialer Richtung gedehnt und daher in Richtung

ihrer Symmetrieachse etwas zusammengezogen ist. Die Elastizität der Linse wird hauptsächlich ihrer Kapselmembran zu verdanken sein, denn wenn die Kapsel abgestreift ist, zeigen die oberflächlichen Schichten der Linse mehr eine schleimige als eine gallertige Konsistenz. Sie haben keine Spur von dem Bestreben ihre Form gegen äussere Kraft zu behaupten oder nach Änderung der Form in die frühere Form zurückzukehren. p. 136 n.

Gespannte elastische Membranen, die ein unveränderliches Volumen einer inkompressiblen Flüssigkeit umschliessen, und mit einem kreisförmigen Rande angeheftet sind, wie die Zonula an der Aderhaut streben, je mehr ihre Spannung wächst, desto mehr sich der Form eines Kugelsegments zu nähern, p. 138.

Die in Richtung der Meridiane des Auges verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche am hintern Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, werden bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut und Glashaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen, und dadurch die Spannung der Zonula und ihren Zug gegen die Peripherie der Linse aufheben müssen, so dass infolge davon die Linse in Richtung ihrer Durchmesser sich zusammenziehen, in Richtung ihrer Axe sich verdicken wird. Dadurch wird auch notwendig die Wölbung ihrer beiden Flächen vergrössert werden, p. 136.

Die Funktion dieser Fasern (der Ringfaserschicht) scheint mir nur die zu sein, auch den vordern Teil der Ciliarfortsätze der zurückweichenden Linse und Zonula nachzuschieben, p. 137.




Ruhe Akkommodation

Fig. 1.
Nach Helmholtz[8]) p. 134.

W. Schoen.

Die Annahme einer bestimmten Kugelgestalt für die Linse ist für meine Akkommodationstheorie nicht nötig, wenn eine solche aber gegeben ist, auch nicht hinderlich, so dass die Frage in suspenso bleiben könnte [18]), p. 36. Ist ausserdem noch ein Bestreben der Linse vorhanden, eine dickere Ruheform anzunehmen, so wird dasselbe die Näheeinstellung unterstützen, p. 31.

Die Zonula stellt eine Verlängerung der Netzhaut dar. Die vordere Linsenkapsel, die Zonula und die Retina bilden die Umhüllung einer Kugel, deren Inhalt Glaskörper und Linse bilden. Die Zwischenräume zwischen den Zonulafasern werden von der Hyaloidea geschlossen [19]), p. 6.

Physiologische Akkommodation: Die Zusammenziehung der Zirkulärfasern drückt die Ciliarfortsätze gegen die Begrenzung der Kugel (die Zonula) und lässt die freie Partie (Vorderfläche der Linse) vorspringen [19]), p. 7.

Die Meridionalfasern verhindern, dass die Ciliarfortsätze vorgleiten. Bei angestrengter Akkommodation drücken die Meridionalfasern den Ball zusammen, sonst sind sie im allgemeinen ausschliesslich die Träger des inneren Augendruckes, wenn das Auge gesund ist, ruht der intraoculäre Druck nicht auf der Sklera [19]), p. 7.

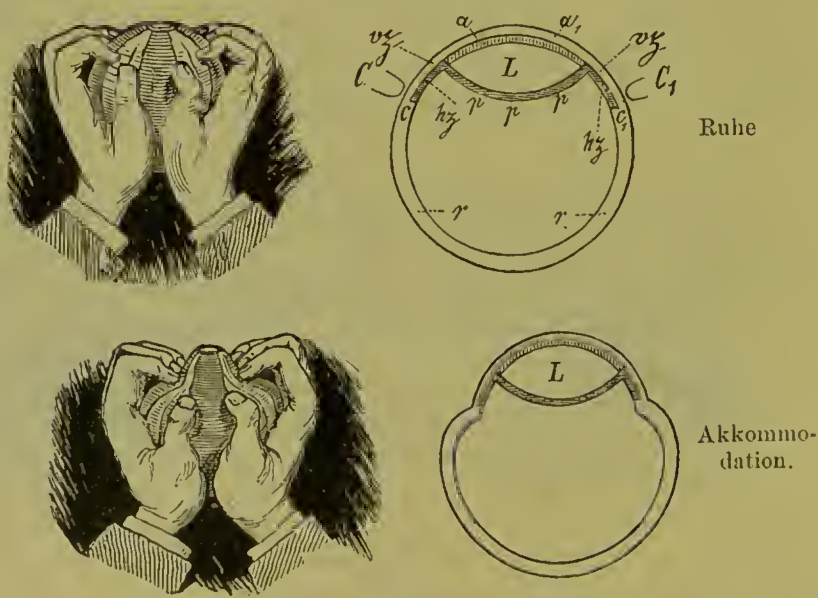



Fig. 2.

Nach Schoen [19]) p. 5.

Tscherning.

L'accommodation se fait par la formation passagère d'un lenticone antérieur [20]), p. 167.

Le contenu du cristallin se compose, chez l'adulte, de deux parties, le noyau, qui ne peut pas changer de forme, et la couche superficielle qui, au contraire, possède cette faculté à un degré très élevé; sa consistance est à peu près celle d'une solution de gomme très épaisse [20]), p. 167.

Ce qui est surtout frappant dans l'expérience que je viens de citer c'est la consistance relativement grande du corps vitré; elle dépasse considérablement celle des masses corticales du cristallin [21]), p. 279.

On peut distinguer entre la partie libre de la zonule qui va du cristallin aux sommets des processus ciliaires, et la partie adhérente qui va de ces sommets jusqu'à l'ora serrata. La dernière partie adhère d'un côté au corps ciliaire, de l'autre côté au corps vitré, d'une telle manière qu'on ne peut pas les séparer sans déchirure [21]), p. 278.

D'après ce qui précède l'action du muscle serait donc double. Le recul de son extrémité antérieure exercerait une traction sur la capsule antérieure en même temps qu'il relâcherait la capsule postérieure. L'action de l'extrémité postérieure attirerait les parties périphériques du corps vitré vers le cristallin en même temps qu'elle augmenterait la résistance de ces parties, tout en diminuant celle de la partie centrale [21]), p. 285.

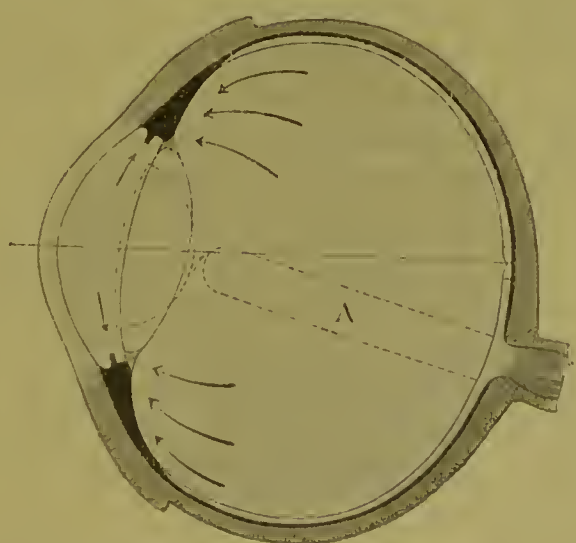


Fig. 3.

. . . le cristallin en état de repos et pendant une forte accommodation . .
Nach Tscherning [21]) p. 279.

Es liegt nun in der Natur der Sache, dass diese drei Theorien, so wie sie von den Autoren für die Physiologie des menschlichen Auges entworfen, begründet und weiter entwickelt worden sind, nicht ohne weiteres auf die Tierreihe, vor allem auf das Vogelauge übertragen werden dürfen, es wird im allgemeinen daher die Fragestellung so lauten müssen: geschieht die Akkommodation der Taube:

a) Durch Entspannung der Zonulafasern und das Bestreben der Linse, ihre Ruheform zu erreichen (Helmholtz) oder
b) durch gesteigerte Spannung der Zonulafasern (Schoen, Tscherning) oder
c) durch eine Kombination der Sätze dieser drei Autoren oder ist
d) schliesslich keine der drei Akkommodationstheorien für das Taubenauge gültig.

---

## Anatomischer Überblick.

In der ganzen Tierreihe nehmen die Vögel, was den Bau des Auges betrifft, eine gesonderte Stellung ein, indem sie eine unter sich in hervorragender Weise übereinstimmende, aber gegen die übrigen Wirbeltiere scheinbar stark abweichende Gruppierung der einzelnen Teile des der Akkommodation dienenden Muskelapparates zeigen und vorallem dadurch, dass die Binnenmuskulatur zum bei weitem grössten Teil aus quergestreiften Muskelfasern besteht. Bei dieser eigenartigen Stellung des Baues des Vogelauges halte ich es für notwendig, einen kurzen Abriss des anatomischen Baues derjenigen Teile zu geben, welche für die Physiologie der Akkommodation wesentlich in Betracht kommen, um dadurch das Verständnis derselben zu erleichtern. Ich folge dabei, soweit nicht anders im Text angegeben ist, oder eigene ergänzende Untersuchungen insbesondere über die Verteilung des elastischen Gewebes (welche ich in der Literatur noch nicht ausführlich beschrieben gefunden habe) notwendig wurden, der Darstellung von Leuckart[22]), für die Mitteilungen über den Bau der Linse habe ich die ausgezeichneten Arbeiten Rabls[17]) zugrunde gelegt (vergl. dazu auch Koelliker-v. Ebner[24]).

Das Auge der Taube ist wie überhaupt das Vogelauge als ein System von zwei ineinandergesteckten annähernd eiförmigen Körpern (welche je eine physiologische Einheit bilden) aufzufassen.

Die äussere Schutz- und Stützschale, aus Hornhaut und Sklera bestehend, ist in dem Verbindungsstück beider durch eine knöcherne Einlage versteift.

Die Hornhaut unterscheidet sich nicht nur bei der Taube, sondern überhaupt bei den Vögeln von der Säugetierhornhaut dadurch, dass sie wesentlich dünner ist, etwa ²/₃ der Dicke der Sklera — bei Macacus und Mensch beträgt die Skleradicke etwa ²/₃ der Hornhautdicke — und dass sie sich fast bis in das mittlere Drittel (Pupillengebiet) in zwei Lamellen spalten lässt. Diese Lamellen sind jedoch lediglich durch lockeres Hornhautgewebe voneinander getrennt, eine spezifische Grenzschicht zwischen beiden existiert nicht. Dieser Bau spielt, wie wir unten sehen werden, eine wesentliche Rolle bei der Akkommodation.

Im Gegensatz zu der aus dichten Faserzügen von Bindegewebe bestehenden Sklera der Säugetiere besteht sie bei den Vögeln im wesentlichen aus einer Knorpelschicht, welche nur einen von mehr weniger reichlichen Bindegewebsbündeln gebildeten Überzug besitzt.

Die innere Schale wird formiert von der an der Eintrittsstelle des Sehnerven einsetzenden Aderhaut, welche dicht dem Skleralknorpel angeschmiegt, nach der Hornhaut zu sich in die Ciliarfortsätze nebst Iris fortsetzt und mit der Linse abschliesst, sie enthält also: Netzhaut, Pecten, Zonulafasersystem, Ciliarkörper, Linse und Glaskörper. Beide Schalen hängen hauptsächlich an zwei Stellen innig miteinander zusammen: an der Eintrittsstelle des Sehnerven und an dem Übergangsteil (einerseits zwischen Hornhaut und Sklera — andererseits zwischen Iris und Ciliarfortsätzen) durch das Ligamentum pectinatum.

Die Aufhängung der Linse ist bei den Vögeln wesentlich anders als bei den Wirbeltieren. Während z. B. beim Macacus (wie beim Menschen) die Zonula mit ihrem Fasersystem ausschliesslich den Aufhängeapparat der Linse bildet, wird er bei der Taube zugleich von Ciliarfortsätzen und Zonulafasern dargestellt. Die Zonulafasern entstammen im Gegensatz zu der Zonula des Menschen zum bei weitem grössten Teil denjenigen Zellen, welche die Bedeckung der Ciliarfortsätze bilden (wie man besonders an depigmentierten Schnitten sieht), nur ein kleiner Teil streicht in den Tälern zwischen den Ciliarfortsätzen an der Oberfläche des Glaskörpers entlang nach der Ora serrata zu. Die elastischen Fasern des Lig. pectin. durchkreuzen zwar den von der Aderhaut kommenden Zug elastischen Gewebes und verlaufen in der Richtung der Ciliarfortsätze, sie gehen aber niemals in die Zonulafasern über, sondern enden in der bindegewebigen

Grundsubstanz der Ciliarfortsätze*). Das Stützgewebe der Aderhaut, das aus einer im Gebiet vom Äquator nach dem hinteren Augenpol zu sich verdünnenden Lage elastischer Fasern besteht, verdickt sich nach der Gegend des Übergangsstückes zwischen Cornea und Sklera und schwillt zu einer mächtigen Faserlage an der Basis der Ciliarfortsätze an. So entsteht eine Schicht elastischen Gewebes, welche wie ein fester Ring in gleicher Entfernung etwa von Hornhaut und Linsenäquator konzentrisch mit den Übergangsteilen zwischen Cornea und Sklera die Linse umgibt. Von der Basis der Ciliarfortsätze strahlen pinselartig die einzelnen starken Fasern des elastischen Gewebes in das innere derselben. Ausserordentlich übersichtlich und zur Orientierung über das Verhältnis der Zonula zum Lig. pectin. und den Ciliarfortsätzen haben sich mir Meridionalschnitte gezeigt, welche von Augen stammen, denen das Pigment durch Behandlung mit Kal. permangan. und Oxalsäure entzogen war und die nach Weigert zur elektiven Färbung der elastischen Fasern nachbehandelt wurden**).

Die Ciliarfortsätze sind bei der Taube fest mit der Linsenkapsel verwachsen, so dass man es häufig besonders bei äquatorialen Schnitten der Linse erlebt, dass das pigmentierte Epithel während der Färbung an der Linsenkapsel bleibt und das eigentliche Gewebe der Ciliarfortsätze abreisst. Dass die Verbindung der Ciliarfortsätze mit der Linse eine ausserordentlich innige ist und eine hohe physiologische Bedeutung auch für die Linsenfasern hat, geht aus der Form der Linsenfasern des Ringwulstes hervor, welche in der Höhe der Ansatzstellen wesentlich anders sind, als diejenigen, welche den freien Räumen zwischen den Ciliarfortsätzen entsprechen (vgl. dazu Rabl[16]) Tafel XV, Nr. 5). Kurz vor dem Übergang des Skleraknorpels in das Verbindungsstück gabelt sich bei der Taube die starke Schicht elastischer Fasern, ein Teil, der wesentlich schwächere, strebt an der Innenseite des Muskelsystems (Crampton-Müller-Brücke) nach der Hornhaut zu und endet an deren innerer Lamelle am Hornhautsporn, wo er mit als Stützpunkt der Insertion dieses Muskelsystems dient. So wird (auf Meridionalschnitten vgl. Tafel II, Fig. 2) ein annähernd dreieckiger Raum gebildet (Fontanascher Raum), der vorn durch die vom Hornhautsporn nach der Iriswurzel ziehenden starken elastischen Bündel des Lig. pectin. überbrückt wird. Das Innere des Dreiecks besteht aus einem lockeren Maschenwerk von Fasern, welche im wesentlichen mit dem Lig. pectin. parallele Faserzüge bilden. Die

*) Vgl. dazu Tafel II, Fig. 3.
**) Vgl. dazu Tafel II, Fig. 2.

Fasern des Lig. pectin. biegen an ihren Insertionen um und verlaufen in der von der Aderhaut kommenden Faserrichtung; ein einziges Bündel, das stärkste, direkt an der Iriswurzel, durchkreuzt die von der Aderhaut kommenden Fasern und verläuft in die vordersten Ausläufer der Ciliarfortsätze, so dass man wohl berechtigt ist (Beer[32]) zu sagen, dass auch das Lig. pectin. als Aufhängeband der Linse — wenigstens mittelbar — anzusehen ist. Die von der Aderhaut kommenden elastischen Fasern umspinnen die Iriswurzel, reichen an ihrer Aussenseite ein grosses Stück hinauf bis fast genau zu den ersten Fasern des Lig. pectin., welche zarter als die übrigen, wie ein Zügel die Iris halten und sich tief in ihr Gewebe nach der Pupille zu auslaufend verfolgen lassen.

Bei dieser Besprechung der anatomischen Verhältnisse des Lig. pectin. möchte ich mir eine kleine Abschweifung gestatten und die Frage erörtern, ob das Lig. pectin. während des Lebens der Tiere straff gespannt ist, oder ob es, wie meist an Radiärschnitten gehärteter Bulbi zu sehen ist, unter Umständen locker werden kann.

Auf Querschnitten durch die von mir in gefrorenem Zustand untersuchten Augen bilden die Ciliarfortsätze rhombische Formen und zwar zeigen die mit Curare + Atropin*) behandelten Augen diese Form (Fig. 4); während die mit Strophantin**) behandelten Augen deutlich die folgende Form zeigen (Fig. 5):

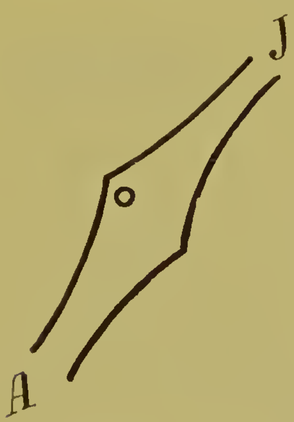



Fig. 4.
Akkommodationsruhe.
(Schematisch.)

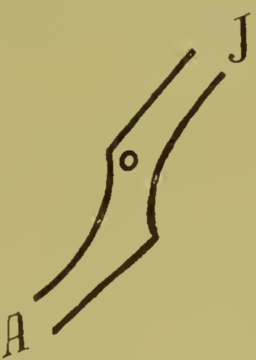



Fig. 5.
Akkommodation.
(Schematisch.)

(A = Aderhaut; I = Iris.)

*) Muskelruhe.
**) Muskelkrampf.

An beiden Figuren sieht man die dem Zeichen o o entsprechenden Ecken vorspringen, sie entsprechen der Ansatzstelle des Lig. pectin., wenn dieses aber das nach der Augenachse zustrebende Gewebe in Form einer scharfen Ecke herausziehen kann, so folgt, dass es bei Akkommodation mindestens nicht weniger straff gespannt ist, als bei Akkommodationsruhe.

Ein zweiter Grund, warum das Lig. pectin. während des Lebens jederzeit festgespannt sein muss — ganz besonders aber bei der Akkommodation — ist der Zug des Sphincter iridis nach der Pupillenöffnung, welcher mit steigender Akkommodation die elastischen Faserzüge, welche bis in das Innere des Irisgewebes reichen, anspannen muss.

Ein dritter Grund, die Spannung des Lig. pectin. zu erhalten, ist das Andringen des Kammerwassers nach dem Fontanaschen



Fig. 6.
Kleine Taube.
Akkommodationsruhe (Curare + Atropin). Akkommodation (Strophantin).

Raum zu während der Abflachung der peripheren Teile der Cornea bei der Akkommodation *).

Die Linse der Vögel besteht, wie die Linsen der anderen Vögel, aus dem Linsenkern und dem Ringwulst, überhaupt zeigen (Rabl[17]) p. 329 „trotz der grossen Verschiedenheit der Form, die Vogellinsen doch eine weitgehende Übereinstimmung des inneren Baues, es dokumentiert sich darin wieder die schon von vielen Seiten hervorgehobene — auffallende Einförmigkeit der inneren Organisation dieser Tierklasse (Häckel)“.

Der Linsenkern ist bei der Taube annähernd kugelförmig, ihm ist von vorn und von der Seite der Ringwulst aufgesetzt, dessen Fasern sich wesentlich in ihrem Bau von dem des Linsenkernes

*) Vgl. dazu auch Tafel III, Figg. 4 u. 5.

unterscheiden. Die Linsen der Vögel sind ausserordentlich weich, so dass der leiseste Druck genügt, um ihre Form zu verändern (p. 323). Zwischen Linsenkern und Ringwulst findet sich an gehärteten Linsen meist ein enger Zwischenraum, welcher — wie auch Rabl vermutet — nach Ritter[23]) beim lebenden Tier mit Flüssigkeit angefüllt ist, so dass es leicht möglich ist, dass sich bei Änderungen des Druckes in der Umgebung der Linse die Fasern des Ringwulstes gegen die Massen des Linsenkernes verschieben können. Die Dicke der Linsenkapsel zeigt bei der Taube auffallende Unterschiede; sie ist am dünnsten in der Gegend des hinteren Linsenpoles (etwa 2 $\mu$), schwillt am Äquator ziemlich rasch an und ist unter der Ansatzstelle der Ciliarfortsätze und Zonulafasern 7—8 $\mu$ stark. Am dicksten (8—10 $\mu$) ist sie kurz vor den Ciliarfortsätzen, um sich wieder nach dem vorderen Pol hin zu verdünnen (3—4 $\mu$).

Im Glaskörper werden, wie wohl seit Retzius[25]) allgemein angenommen ist, zweierlei Substanzen unterschieden, eine festere, gleichmässig gefügte Rinden- oder Grenzschicht und der zarte, locker gefügte, in gehärtetem Zustand fetzig aussehende Kern. Grenzschicht und Kern sind nicht scharf voneinander unterschieden, sondern gehen (wie vergleichsweise ein Brot und seine Rinde) ineinander über. Beide bestehen im wesentlichen aus denselben Elementen, aus unmessbar feinen Fasern ohne Zellen, welche nach allen Richtungen des Raumes sich durchflechten und Maschen einschliessen, in welchen die Glaskörperflüssigkeit enthalten ist[26]). Wie sehr jetzt der Standpunkt geteilt wird, dass der Glaskörper nicht eine Flüssigkeit ist (Helmholtz[8]) p. 40. „Der Glaskörper ist eine gallertige Masse von wenig Zusammenhang . . . . Bei Embryonen hat der Glaskörper einen zelligen Bau, später aber findet man von den Zellen nur einzelne Reste, Membranen, Körnchen, körnige Masse, welche sich in der Flüssigkeit, wenn auch nicht ganz frei, bewegen kann“), zeigt die Lebersche[27]) Anschauung: „es ist aber hierbei zu berücksichtigen, dass der Glaskörperraum zum bei weitem grösseren Teil nicht von einer Flüssigkeit eingenommen wird, sondern von einem Gewebe“ p. 24. Tscherning[21]) p. 279 f. weist mit Recht darauf hin, dass man sich allzusehr angewöhnt habe, die Konsistenz des Glaskörpers zu unterschätzen: „ce qui est surtout frappant dans l'expérience que je viens de citer c'est la consistance relativement grande du corps vitré, elle dépasse considérablement celle des masses corticales du cristallin“, nur sei es notwendig, nicht den Glaskörper nach der Konsistenz zu beurteilen, welche er bei alten Leuten, besonders Staroperierten habe. Der Glaskörper verändert sich

mit dem zunehmenden Alter, während er bei Jugendlichen fest ist, werde er in zunehmendem Alter verflüssigt.

Zum Schluss dieser anatomischen Betrachtungen ist es notwendig, den eigentlichen Muskelapparat zu besprechen. Leuckart[22]) sagt darüber: „der Ciliarmuskel besteht ausschliesslich aus Längsfasern, die sich in Form eines ziemlich dicken Ringes der Innenfläche des Verbindungsteiles auflagern, in den verschiedenen Schichten aber abweichende Insertionen haben, so dass man danach den ganzen Muskel in drei Portionen zerfällen kann, die besonders bei den Raubvögeln scharf gegeneinander sich absetzen, bei den übrigen aber mehr oder minder innig zu einer zusammenhängenden Masse vereinigt sind.

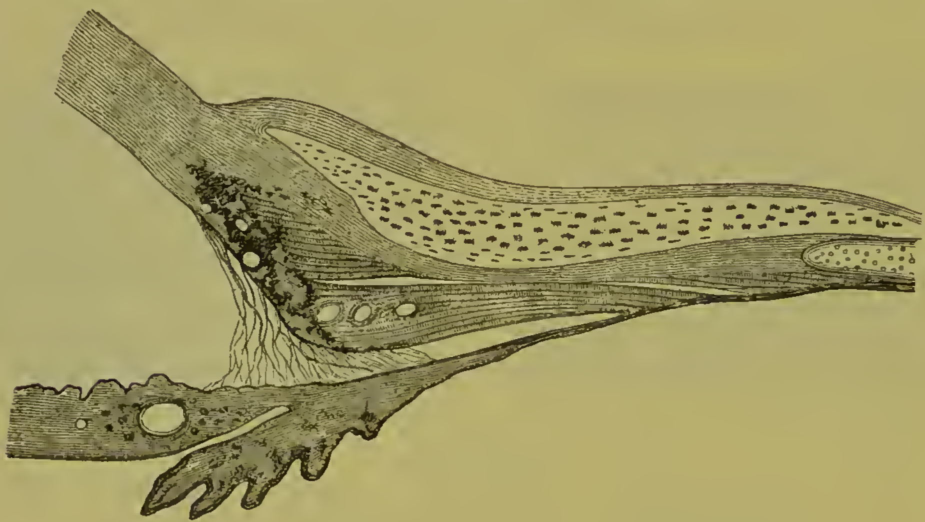


Fig. 7.

„Längsschnitt des Ciliarapparates vom Truthahn. Mit Iriswurzel, Strahlenring Canalis Fontanae, Muskeln und Sklera, deren Bindesubstanz den Knochenring und Knorpel einschliesst." Nach Leuckart[22]) p. 234.

Zum Verständnis dieser Bildung muss zunächst bemerkt werden, dass der Aussenrand der Cornea bei den Vögeln nach Innen und Hinten eine ringförmige Leiste abgibt. Auch bei den Vögeln dient diese Leiste zum Ansatz für die Balken des Ligamentum pectinatum. Diese Leiste bildet nun aber auch den vorderen Ansatzpunkt für eine grosse Menge von Muskelfasern und zwar für alle jene, welche die zwei vorderen Portionen des Ciliarmuskels darstellen. Die äussere dieser Portionen, der sog. Cramptonsche Muskel, füllt den grösseren Teil der Rinne, die zwischen der Leiste und der Innenwand des Verbindungsstückes, einer Hohlkehle vergleichbar, ringförmig um den Kanalrand herumläuft. Sie besteht aus Fasern, die von Vorn und

Innen nach Hinten und Aussen verlaufen und immer länger werden, je mehr sie sich der Augenachse annähern. Sie befestigen sich immer samt und sonders mit ihrem hinteren Ende an die Sklera oder, wenn man lieber will, an dem vorderen Rand des Sklerotikalringes, der natürlich einen festen Punkt abgibt, so dass der Kontraktionseffekt dieser Fasern sich immer nur auf die Cornealeiste übertragen kann. Die nach innen davon gelegene zweite (Müllersche) Portion des Muskels wird von Fasern gebildet, die gleichfalls mit der Cornealeiste in Verbindung stehen, auch in wesentlich gleicher Richtung verlaufen, wie die Cramptonschen, aber länger sind, so dass sie eine Strecke weit an der Innenwand der Sclerotica hinziehen, um sich schliesslich hinter der Mitte des Verbindungsteiles an der Choroidea zu befestigen. Sie haben also zwei bewegliche Ansatzpunkte, so dass es von den Umständen abhängt, ob der vordere oder hintere durch die Zusammenziehung in seiner Lage verändert wird. Allem Vermuten nach wird es vornehmlich die Choroidea sein, auf die sich die Bewegung überträgt. Mit Bestimmtheit lässt solches sich für die dritte hintere (sog. Brückesche) Portion des Ciliarmuskels behaupten, der ganz nach Analogie des Ciliarmuskels bei den Säugetieren zwischen Gefässhaut und Augenwand sich ausspannt." — Soweit Leuckart.

Mit der Schilderung dieser dreifachen Muskelgruppe ist aber der Überblick der Muskelanlage im Vogelauge noch nicht erschöpft, es erübrigt noch die Irismuskulatur, welche ein mächtig ausgebreitetes System von Ringmuskelfasern darstellt, anzufügen. Sie bilden den wesentlichsten Teil des ganzen Irisgewebes. In der Iris der Taube findet man bei Flächenbetrachtung und an Radiärschnitten in allmählichem Übergang zwei Arten von Ringmuskelfasern, die sich zwar nicht auffallend anatomisch, aber durch ihre physiologische Funktion wesentlich voneinander unterscheiden.

1. Der Sphincter Pupillae wird durch ein ausserordentlich engmaschiges Netz von quergestreiften schmalen Ringmuskelfasern gebildet, welche der Pigmentschicht (vertreten durch die Schicht der kurzen spitzen Muskelfasern entsprechend der Bruchschen Membran bei den Säugetieren, und das hintere stark pigmentierte Irisepithel) aufliegen. Die Maschen dieses Ringfasernetzes sind so eng, dass sie auf Flächenschnitten fast ein kontinuierliches Ganze bilden, welches vom Pupillarrand aus bis über $^{3}/_{4}$ des Irisgewebes sich erstreckt und allmählich übergeht in 2. die äussere Ringmuskelschicht welche hart an der Iriswurzel genau vor dem Eintreffen der starken Bündel des Lig. pectin. in dieselbe beginnt. Diese, aus breiten Ringmuskelfasern

mit ausserordentlich deutlicher Querstreifung gebildet, zieht sich die ganze Iriswurzel ausfüllend nach und nach auf der äusseren Irisschicht entlang bis sie im mittleren Irisdrittel sich in die Sphinktermuskulatur verliert*).

Soweit, wie die elastischen Fasern des Lig. pectin. über die Iriswurzel hinaufgreifen, halte ich die Ringfasern an der Aussenseite für eine physiologische Einheit im Gegensatz zu dem an der inneren Seite der Iris liegenden Sphinkter. Schon Heinrich Müller hat die Eigenart des äusseren Teiles der Irismuskulatur erkannt, er beschreibt sie unter dem Namen des Compressor lentis, er folgert ihre Selbständigkeit aus dem oft zitierten Beispiel seiner Beobachtungen des lebenden Falkenauges [9]) p. 27.

„Es zeigt sich auch bei aufmerksamer Betrachtung der Irisbewegung an einem lebenden Falken, dass die Kontraktion der äusseren und inneren Muskelringe keineswegs immer gleichförmig vor sich geht. Vielmehr ist bei der auch sonst schon beobachteten undulierenden Bewegung der Iris, welche man namentlich bemerkt, wenn man starke Akkommodationsbewegungen veranlasst, häufig einige Zeit hindurch eine starke Kontraktion der äusseren Partie zu erkennen, während die Weite der Pupille sich dabei sehr wenig ändert, und es erhebt sich dabei in einiger Entfernung vom Pupillarrande ein Wulst, welcher bei seitlicher Beleuchtuug einen starken Schatten wirft, ja es scheinen bisweilen die äusseren Muskelringe über die inneren sich etwas wegzuschieben. Andere Male erleidet die Weite der Pupille sehr beträchtliche Änderungen, ohne dass die äusseren Ringe der Iris daran entsprechenden Anteil nehmen. Es hat dies den Anschein, als wenn die äussere Partie der Iris vorwiegend den akkommodativen Bewegungen diente, die innerste aber der Pupillenverengerung, doch will ich hiermit nicht eine völlige Trennung der beiden mehr oder weniger associierten Bewegungen beanspruchen, sowie ich auch anatomisch eine scharfe Grenze der beiden Muskel-Regionen nicht bemerkt habe, wiewohl mir am lebenden Auge eine Linie den Pupillarring der Iris abzugrenzen schien."

Die Anerkennung der Mitwirkung dieser äusseren Ringmuskelschicht bei der Akkommodation, die fälschlich von Heinrich Müller als Compressor lentis aufgefasst wurde, ist oft verweigert worden und doch haben sich auch in letzter Zeit mehrere Autoren u. a. Canfield [28]) über die scheinbare Selbständigkeit dieses Muskelbündels ausgesprochen: p. 20, „und diesem (Muskelfaserbündel) entsprechend

*) Vgl. dazu Tafel II, Fig. 4 und Tafel III, Fig. 2.

springt auch die Irisoberfläche in einem Buckel in die vordere Augenkammer vor. An der äussersten Irisgrenze befindet sich konstant ein solcher Buckel, der sogar der mächtigsten Muskelanhäufung der ganzen Iris entspricht".

In den meisten Lehrbüchern steht, dass die Taube einen quergestreiften Dilatator besitzt, seine Bündel sind allerdings meist als „sehr spärlich und dünn" bezeichnet; auch Heine[29]) schreibt: „man findet dann äusserst spärliche radiäre Muskelfasern, die deutliche Querstreifungen zeigen; sie verlaufen etwa bis zur Mitte der Irisbreite und biegen hier in den Sphinkter nach rechts oder links ein." Es gibt aber auch Autoren, welche ihn völlig vermissen, z. B. Canfield[28]) p. 18, bei der weissen Taube. Durand[30]) schreibt: „Il existent cependant des fibres radiées mais elles sont trop peu nombreuses pour qu'on puisse décrire un plan radié. Niées par Michel[31]), elles sont admises par la plupart des auteurs. Koganei[33]) s'étonne même qu'on ait pu les mettre en doute, car il les a trouvé facilement. Elles m'ont paru très clairsémées, et on peut examiner un grand nombre de coupes sans en rencontrer. Elles se recourbent au voisinage du bord ciliaire et prennent la direction du sphincter."

Ich kann mich auf Grund einer grossen Zahl der von mir verfertigten und genau durchgesehenen Flach- und Meridionalschnitte der Iris von Tauben der verschiedensten Farben und Grössen nur der Ansicht Durands anschliessen.

Da aber die Taube, wie man sich ohne weiteres an jeder normalen Taube überzeugen kann, lebhafte Pupillenbewegungen zeigt, muss ein kräftig entwickelter Dilatator unbedingt nachzuweisen sein. Durch Vergleichung des Dilatators bei Säugetieren und beim Menschen, bei welchen er durch die sogenannte Bruchsche Membran dargestellt wird, ist in hohem Grade wahrscheinlich, dass bei der Taube der gesuchte Dilatator auch durch eine Zellschicht gebildet wird, welche der Bruchschen Membran entspricht. Nun hat bereits Grünhagen[35]) p. 728 f. eine Schicht von „feinen starren, nicht selten geästeten Fasern" beschrieben, welche „bei Betrachtung der hinteren Irisfläche von oben also unter den Zellen anzutreffen sind", er erklärt sie aber ausdrücklich als nicht muskulös („allerdings kann ich niemand verwehren, auch die von mir isolierten Bündelzellen für Muskelzellen ansehen zu wollen"). Wenn man die Schichten der Iris der Taube aber betrachtet, kann man per exclusionem nur ausschliesslich auf diese Schicht als Dilatator zurückkommen. Nach Münch[34]) p. 12 hat der Dilatator folgende Verpflichtungen, er muss:

1. den Tonus des Sphinkter überwinden;

2. die Gefässe raffen bis zur stärksten Schlängelung, wobei die Starrheit der Gefässwände zu überwinden ist;

3. die Gefässe und das Gewebe auspressen, d. h. den Blutdruck und Lymphdruck überwinden. Dazu kommt noch, dass der Blutdruck, der dem Dilatator hemmend entgegensteht, umgekehrt dem Sphinkter bei seiner Kontraktion zu Hilfe kommt.

Unmöglich können also die ausserst spärlichen radiären, quergestreiften Muskelfasern in der Iris der Taube den ganzen Dilatator repräsentieren, sie scheinen mir vielmehr durch die Gleichartigkeit ihres Baues und ihrer Innervierung die Wirkung des an der Iriswurzel gelegenen selbständigen Muskelbündels — welches wie wir später sehen werden, nicht als Sphinkter wirken kann — zu unterstützen. (Vgl. dazu auch Lit. [47]).

## Untersuchungsmethoden.

Schon (Langenbeck 1849) bevor Helmholtz seine mit dem Ophthalmometer gemessenen Radien der Linsenflächen veröffentlichte, war durch Beobachtung der von Purkinje-Sanson beschriebenen Linsenreflexbildchen die Veränderung der Wölbung des vorderen Poles der Linse erkannt worden. Das von Helmholtz verwendete Prinzip der Verdoppelung des zu messenden Gegenstandes kehrt bei fast allen der später ersonnenen Ophthalmometer (Javal-Schiötz, Landolt etc.) wieder und noch heute ist diese Methode der Vergleichung der Stellung der Reflexbildchen zueinander die souveräne zur Beurteilung der Wölbungsveränderung im Augeninnern [Landolt [36])]. Wohl ist es möglich Änderungen des Refraktionszustandes auch anders zu bestimmen, vor allem mit der für das Tierauge sehr geeigneten Skiaskopie oder mit der wesentlich einfacheren Methode der Bestimmung durch das sog. aufrechte Bild im Augenspiegel (Refraktionsaugenspiegel von Morton und vielen anderen). Andere Methoden, es gibt deren eine ganze Reihe zur Bestimmung des Refraktionszustandes, sind beim Tierauge m. W. nicht angewendet worden, wenigstens habe ich in der ziemlich umfänglichen Literatur keine Angaben gefunden. Einen Musterfall zur Beobachtung mit dem Ophthalmometer hat kürzlich Grossmann [37]) veröffentlicht. Es

handelte sich um einen jungen Mann mit angeborener Aniridie ohne irgendwelche wesentlichen pathologischen Veränderungen.

Beer[38]) versuchte nach dem Vorgang von C. Weber[39]) durch direkte Beobachtung vermittelst eines Mareyschen Registrierapparates das Einziehen der peripheren Corneateile bei der Akkommodation graphisch darzustellen und veröffentlicht eine auf der berussten Registriertrommel gezeichnete Kurve der Hornhautbewegung[38]) p. 209.

Schliesslich hat man versucht, durch Einstechen von feinen Nadeln in die während der Akkommodation sich im Augeninnern bewegenden Teile und durch Beobachtung der freien Enden derselben Aufschluss über die sich abspielenden Bewegungen zu erlangen. So erreichten es Hensen und Voelckers[1]) beim Hunde z. B. die ganze Zone der Aderhaut von den Ciliarfortsätzen bis zum Äquator als sich bei Akkommodation verschiebend nachzuweisen. Aber trotz aller Bemühungen gelang es noch immer nicht, mit Hilfe dieser vielerlei Methoden sich ein unzweifelhaftes Bild der Akkommodation am Lebenden zu entwerfen.

Man versuchte nun durch Fixierung des vor der Enucleation mit akkommodationserregenden Mitteln beschickten Auges durch Kältewirkung die Formveränderungen der Linse festzuhalten, aber vergeblich, Hensen und Voelckers beschreiben bereits 1868 eine Serie von Versuchen an Augen, die mit Atropin und Eserin vorbehandelt waren und in eine Kältemischung gestellt wurden, „aber alle Versuche waren vergeblich, die Linse fand sich stets in abnormer Lage“ p. 42.

Leopold Müller[40]) 1895 war der erste, dem es gelang, mit einigem Erfolg durch Schnellhärtung frisch enucleierter Bulbi in 42$^0$ warmer konzentrierter Sublimatlösung die Formveränderung einigermassen festzuhalten, er beschreibt bereits mit Hinzufügung einiger schematischer Figuren, dass es ihm gelungen ist, die Formveränderung der Ciliarfortsätze und bis zu einem gewissen Grade auch der Linse festzuhalten, und deutet sie im Sinne der Helmholtzschen Theorie.

Heine[29]) fixierte die ganzen Vogelköpfe von Tauben, deren einer Bulbus mit Mioticum, der zweite mit Mydriaticum behandelt war, in 40$^0$ warmer Flemmingscher Lösung und es gelang ihm auf diese Weise, gewisse konstante Formveränderungen vor allem erkennbar an dem System der quergestreiften Muskelfasern und an der Richtung der Fasern des Ligamentum pectinatum zu erhalten. Es blieb aber auch ihm versagt, die gesuchte Formveränderung der Linse festzuhalten und doch muss diese vor allem den Weg zeigen, auf welchem wir Klarheit über die Physiologie der Akkommodation erhalten können.

Und so sah sich noch Hess[14]) p. 60 gezwungen, zu erklären, „wir kennen aber bis jetzt noch keine Konservierungsflüssigkeit, die eine Erhaltung der ursprünglichen Dimensionen der Linse auch nur annähernd garantiert" und p. 224 „die Fixierung der ruhenden bezw. akkommodierten Linse ist bisher noch nicht gelungen".

Aus L. Müllers und Heines Versuchen geht unzweifelhaft hervor, dass es möglich ist, den Muskel zu härten, also auch wohl eine Zeitlang die Linsenform zu erhalten, dass aber bei längerer Einwirkung dieser Fixierungsmittel die Linse dem physikalischen Gesetz gehorchend, der Kugelform zustrebt, bevor es möglich ist, sie zu härten. Es erscheint deshalb unabweisbar, wenn man die Form der akkommodativ veränderten Linse erhalten will, ein Härtungsmittel anzuwenden, welches so rasch wirkt, dass es bereits die veränderte Linsenform erhält, vor oder zugleich mit dem Eintritt des Zelltodes der Akkommodationsmuskelfasern.

Ein solches Mittel besitzen wir in grosser Vollkommenheit in der Anwendung hoher Kältegrade, denn es ist bekannt, dass kleine Mengen Flüssigkeit, welche ihnen ausgesetzt werden, fast blitzschnell gefrieren.

Es galt also einen Versuch mit dem in dem physiologischen Institut der hiesigen Kgl. Tierärztlichen Hochschule seit langem benutzten Kohlensäuregefriermikrotom von Jung in Heidelberg.

Sehr bald zeigte sich, dass es möglich war, unter gewissen Vorsichtsmassregeln mittelgrosse Augen bis etwa 20 mm Durchmesser so schnell zu gefrieren, dass alle Formveränderungen der Akkommodation und der Erschlaffung des Ciliarmuskels fixiert wurden, wenigstens auf solange, bis es gelungen war, eine vorher vorbereitete photographische Aufnahme (bis etwa 50 Sek. Belichtungsdauer) vorzunehmen*).

Nach meinen Angaben baut jetzt Jung ein Gefriermikrotom, welches gestattet, lebendes Gewebe bis etwa 35 mm Länge- und 35 mm Querdurchmesser zu gefrieren. Ich werde nach erfolgter Erprobung desselben ausführlich darüber Bericht erstatten, da ich hoffe, damit den Akkommodationsakt wesentlich grösserer Tiere als Taube und Macacus festzuhalten.

Ganz besondere Sorgfalt wurde bei allen von mir zur Untersuchung der Akkommodation verwendeten Taubenaugen auf die Enucleation verwendet. Da das zuerst von mir verwendete Jungsche sog. Studentenmikrotom zu klein und zu schwach gebaut war, um nach

*) Für die freundliche und fachkundige Unterstützung bei den photographischen Aufnahmen der gefrorenen Bulbi bin ich Herrn Martin (Prokurist der Firma Karl Plaul, Dresden) zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Heines Vorgang die ganzen Vogelköpfe zu fixieren, wurden die Bulbi in folgender Weise enucleiert. Die Tauben werden durch einen Scherenschlag dekapitiert und während meist noch Schnabel und Zunge Bewegungen ausführen, die drei Lider des zu entfernenden Auges dicht am Orbitalrand abgetragen. Hierauf wird die Schädeldecke durch Abziehen der Haut frei präpariert, so dass es möglich ist, das ganze Schädeldach vom Schnabel bis zum Atlas zu übersehen. Mit einem tadellos spitzen Messer wird dann in der Sagittallinie der Schädel in zwei Hälften gespalten und etwa in der Mitte dieser Linie das Orbitaldach durch einen Schnitt nach der zur Enucleation bestimmten Orbita rechtwinkelig zu dem ersten der Bulbus zugängig gemacht. Unter vorsichtig aufmerksamer Unterstützung eines Gehilfen, der die Hälfte des Kopfes am Schnabel und an dem Wirbelsäulenrest hält und ihr die notwendige Drehung erteilt, ist es möglich, den Augapfel so vorsichtig aus der knöchernen Umhüllung loszulösen, dass er nicht ein einziges Mal mit der Pinzette berührt wird, sondern man trägt ein Stück Knochenrand nach dem anderen ab, bis der Bulbus aus geringer Höhe auf die Tischplatte fällt. Man muss sich natürlich vorher genau anmerken, welche Lage des Bulbus zur Gefrierung erwünscht ist; ich habe bei meinen Versuchen jedesmal die Bulbi auf dem Gefrierapparat so orientiert, dass sie genau die Stellung wie während des Lebens im Kopfe hatten. Es ist ausserdem sehr leicht, sich an dem Auge der Taube zu orientieren, wenn man den Opticuseintritt zur Richtschnur nimmt. Während der zweite Gehilfe durch Aufträufeln von Eiswasser und kurzem Durchströmen der Kohlensäure den Apparat für den aufzusetzenden Bulbus vorbereitet, wird er ohne irgendwie gedrückt worden zu sein, mit einer feinen Pinzette an einem der vielen anhängenden Bindegewebsfädchen gefasst und mit einem Stäbchen auf die Gefrierkammer aufgestellt, wo er sofort anfriert, mit Eiswasser betröpfelt und von vorn oben und hinten oben mit aus einer Entfernung von etwa einem halben Meter auftreffenden Strahlen von Äthylchlorid bestäubt wird.



-----*Schnittlinie*

Fig. 8.

Während dieser ganzen Kälteeinwirkung wird langsam auf die Oberfläche des Bulbus von oben und von der Seite Eiswasser mit einer

kleinen Glaspipette in Abständen gegossen, so dass sich eine etwa 2 mm starke Eiskruste um den ganzen Bulbus bildet. Dann hat es sich uns bewährt, zwei kleine Halbringe aus Messing, wie sie zum Paraffineinbetten verwendet werden, in etwa 5—6 mm Entfernung vom Bulbus zu setzen, um dadurch das Ablaufen des Wassers zu verhindern und eine dickere Eiskruste zu erhalten, da sie ein wesentlich besseres und sichereres Schneiden der Bulbi ermöglicht.

Von Zeit zu Zeit muss ein Gehilfe den Kohlensäurezylinder öffnen, um von unten die Kälte wirken zu lassen, es ist jedoch dabei Vorsicht notwendig, da bei zuviel Kältewirkung der ganze Eisblock platzt.

11 Bulbi der 6 von mir verarbeiteten Macacus cynomolgus wurden rite wie beim Menschen nach Abtragung der Lider vorsichtig enucleiert und nach demselben Vorgang gefroren und geschnitten.

Aus dieser Schilderung geht hervor, dass die von mir zur Fixierung der Akkommodationsveränderungen der Bulbi empfohlene Methode zwar keine grossen maschinellen Einrichtungen, wohl aber einen kleinen Stab von geschulter Assistenz erfordert. Es bedarf vor allem geübten Gehilfenpersonals und ich muss zugeben, dass es mir wohl kaum möglich gewesen wäre, nach verhältnismässig kurzen Vorversuchen die Bulbi bereits tadellos zu gefrieren, wenn ich nicht ein jahrelang geschultes Gehilfenmaterial zur Assistenz gehabt hätte. Auf Grund meiner Erfahrung bei dem Gefrieren von ca. 90 Bulbi möchte ich dringend davor warnen, über die von mir verwendete Methode oder über die aus den gewonnenen Resultaten von mir gezogenen Schlüsse etwa nach 3 oder 4 Gefrierversuchen ein Urteil abzugeben. Es bedarf einer ganzen Reihe von Vorversuchen und wochenlanger Übung, ehe es möglich ist, mit einiger Sicherheit ein Auge in dem gewünschten Zustand völlig zu fixieren. Von den 60 von mir zur Beurteilung der akkommodativen Formveränderung (Taube und Macacus) gefrorenen Bulbi waren nur wenige vollständig typisch in der Gefrierung fixiert, meist boten sie nur eine oder einige der gesuchten Formveränderungen, es war z. B. die Abflachung der Cornea oder die Formveränderung der Linse fixiert. Durch Vergleichung der mehreren Tausend sorgfältig durchgemusterten Mikrotomschnitte sowie der etwa 200 photographischen Aufnahmen, welche von den verschiedenen Bulbi angefertigt worden sind, gelang es aber doch schliesslich mit Sicherheit Schlüsse auf die dargestellten Formveränderungen zu ziehen. Es vergingen bei kleinen Tauben durchschnittlich etwa 6—8 Minuten bis es gelang, vom Scherenschlag der Decapitation an gerechnet, den ersten Mikrotomschnitt durch das gefrorene Auge zu machen. Bei grösseren Tauben

bei Falke, Macacus, Katzen und einigen anderen Tieren, die ich vergleichsweise zur Untersuchung heranzog, vergingen etwa 5—6 Min. mehr, bis die Gefrierung so vollständig geriet, dass mit Sicherheit geschnitten werden konnte. Im allgemeinen wurden nur tadellose Bulbi zur Beurteilung der Formveränderung verwendet, auch alle etwa bei der Enucleation angeschnittenen oder sonst verletzten Bulbi wurden sofort vernichtet. Eine kleine Serie Bulbi wurde absichtlich deformiert, z. B. durch Einschneiden eines Fensters in die Sklera, durch Druck auf die obere oder hintere Fläche des Bulbus, um die von anderen Seiten beschriebenen Beobachtungen nachzuprüfen.

Bevor ich nun über die von mir gewonnenen Resultate eingehend berichte, bedarf es eines Hinweises auf die wissenschaftliche Berechtigung der von mir verwendeten Fixierungsmethode. Wie allgemein bekannt, wird seit langen Jahrzehnten an gefrorenen Gewebsteilen gearbeitet, verdanken wir doch I. Arnold[41]) einen grossen Teil unserer Kenntnis des Baues der Linsenfasern, die an Gefrierschnitten studiert worden sind. Wer kennt nicht den grossen Atlas der menschlichen topographischen Anatomie von W. Braune, der ausschliesslich nach gefrorenen Leichen angefertigt wurde! Um aber noch ausdrücklich für das Auge die Berechtigung der von mir verwendeten Methode nachzuweisen, zitiere ich von Michel[42]) „über den Einfluss der Kälte auf die brechenden Medien des Auges", der nach eingehenden Untersuchungen über die am Auge eingeleitete Gefriertrübung sagt, dass: „Änderungen der anatomischen Struktur (scil. in der Linse) nicht Ursache der Trübung sein können". v. Michel beobachtete, und ich kann seine Beobachtungen nur durchaus bestätigen, dass „bei Einwirkung der Kälte die Hornhaut geradeso sich verhält wie die Linse, der Humor aqueus und der Glaskörper, aber durchsichtig oder nahezu durchsichtig bleibt" p. 77.

Hornhaut und Linse gefrieren beide rein weiss, so dass sie sich ausserordentlich scharf von der Umgebung abheben.

Da zur Erzielung der Akkommodationsruhe bei den Tauben Atropin nur schwer[43]) verwendet werden kann, wurde die Lähmung der Akkommodationsmuskulatur durch subkutane Injektionen einer Lösung von Curare 1 % und Atropin 5 % 2—3 Teilstriche einer Pravazspritze erzeugt; nach etwa 20 Min. während der man meist künstliche Atmung vornehmen muss, tritt die maximale Mydriasis ein. Zum Vergleich der so erhaltenen Resultate wurden mit Strophantin 1 % Lösung behandelte Augen verwendet. Wie bekannt, bewirkt Strophantin bei der Taube nach 10—15 Min. maximale Miosis und

Akkommodationskrampf. Wenn aber während dieser Zeit die Allgemeinwirkung auf das Tier nicht tödlich gewesen ist, tritt nach etwa einer Stunde an ihrer Stelle totale Lähmung der ganzen quergestreiften Muskulatur im Augeninnern, die nach Heine wochenlang anhalten soll, und durch kein irgendwie geartetes Mittel gehoben werden kann. Zur Erzielung des Akkommodationskrampfes benutzte ich Strophantin 1 % Lösung, in jeden Bindehautsack je nach Grösse der Taube 1 bis 3 Tropfen eingeträufelt.

Nikotin, das Heine[29]) in erster Linie als Akkommodationskrampfmittel bezeichnet, hat sich mir durchaus nicht bewährt; auch von 1 % älterer oder frischer Lösung bewirkte meist ein einziger Tropfen nach 2 Sek. den Exitus. Wohl trat meist nach dem Stillstand der Atmung noch nachträglich Miosis ein, aber fast niemals fand sich dann die Linse beim Gefrieren in akkommodativ veränderter Form. Ein geradezu unheimlich wirkendes Mittel ist Nicotinum purum, ein Sondenknopf in die hellbraune Lösung getaucht und auf die Bindehaut gesetzt, bewirkte ein fast blitzartiges Auslöschen des Lebens der Taube.

Für die Versuche mit Macacus wurde Atropin und Eserin in den beim Menschen üblichen Verdünnungen — beide 1 % verwendet mit prompter Reaktion.

Bei allen von mir vorgenommenen Tierversuchen wurde ausdrücklich vermieden, zur gleichen Zeit ein Auge mit einem Mydriaticum, das zweite mit einem Mioticum zu beschicken, da ich bei der ausserordentlich geringen Widerstandsfähigkeit der Tiere eine Allgemeinwirkung der Medikamente fürchtete und dadurch Schädigungen der Akkommodation. Es schien mir aber zweckmässig zu sein, zur Erzielung recht ausgeprägter normaler Linsenform, in das zweite Auge des Tieres zwei Tage vor der Vornahme des Versuches zwei Tropfen Strophantinlösung zu geben, so dass am dritten Tage dann die Parese der Akkommodationsmuskulatur eingetreten war; ob dabei die Blendung des einen Auges reflektorisch auf dem anderen Auge einen erhöhten normalen Einstellungsimpuls hervorrief oder ob das Tier wegen der Lähmung der Akkommodation des einen Auges das zweite Auge willkürlich stärker innervierte, wage ich nicht zu entscheiden.

## Resultate meiner eigenen Untersuchungen.

Auf Grund der Beobachtungen an den gefrorenen Augen von 41 Tauben und 6 Macacus cynomolgus, i. S. 58 in gefrorenem Zustand untersuchte Bulbi

| | | |
|---|---|---|
| Tauben | 5 | in Lähmung (Curare und Atropin), |
| | 11 | normal, |
| | 21 | in Strophantinwirkung I. Stadium, |
| | 7 | Ruhe. Abtragung der Zonula s. S. 31, Anmerk. |
| | 3 | absichtlich deformierte Augen |
| i. S. | 47 | Augen ; |
| Macacus | 1 | Lähmung Atropin, |
| | 3 | normal, |
| | 3 | Eserinkrampf, |
| | 3 | Ruhe, Abtragung der Zonula, |
| | 1 | absichtlich deformiertes Auge, |
| i. S. | 11 | Augen |

möchte ich 4 verschiedene Typen der Formveränderung der Linsen aufstellen.

Da die Formveränderungen der Linsen der Tauben in hohem Grade charakteristisch waren und ganz genau der Formveränderung der Affenlinsen parallel gingen, so kann man auch entsprechend der allgemeinen Anschauung mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit annehmen, dass der Akkommodationsmechanismus bei den so verschiedenen Tiergattungen ein hervorragend ähnlicher sein wird.

Wenn ich in folgendem unter Atropin bezw. Curare — Akkommodationsruhe und unter Eserin bezw. Strophantinwirkung ersten Grades — Akkommodationskrampf verstehe, so bin ich mir zwar bewusst, dass ich eine Ungenauigkeit ausspreche, denn es ist bisher noch nicht bewiesen, dass die Wirkung dieser Muskelgifte die genannten physiologischen Muskelzustände am normalen Auge repräsentieren, aber ich folge damit dem in der grossen Reihe der Autoren (Hensen-Völckers, Coccius, L. Müller, Heine, Hess u. a.) geübten Sprachgebrauch.

## Typus I.

### Atropin-Linse (Muskelruhe).

Durchmesser (vorderer-hinterer Pol Linsenachse) der **kleinste** von allen 4 Typen.

Äquatorialdurchmesser der grösste von allen 4 Typen. Radius der Wölbung der Vorderfläche grösser als der der Hinterfläche.

Äquatorialgegend im Horizontalschnitt spitz bei der Taube, ähnlich beim Affen.

Index 2.10 Taube. Index 2.52 Affe.



Fig. 9.



Fig. 10.

## Typus II.

### Normal-Linse (Muskeltonus).

Linsenachse grösser als Typus I. Äquatorialdurchmesser kleiner als Typus I. Radien beider Wölbungsflächen kleiner als bei Atropinwirkung. Äquatorialgegend im Horizontalschnitt stumpf abgerundet.

**Kleine Konvexität der Hinterfläche nach dem Innern der Linse zu gerichtet!**

Index: 1.93 Taube. Index: 2.28 Affe.



Fig. 11.



Fig. 12.

## Typus III.

Strophantin bezw. Eserin-Linse (Akkommodationskrampf).

Linsenachse grösser als bei Typus II. Äquatorialdurchmesser kleiner als Typus II. Radien der Vorder- und Hinterfläche kleiner noch als bei Typus II. Äquatorialgegend stark gewölbt. (Die Vorderfläche bildet beim Macacus wegen der Wölbung am vorderen Pol und der Abplattung nach der Peripherie hin ein Rotationshyperboloid (Tscherning, Grossmann), keinesfalls ist sie als sphärisch zu erkennen.)

Ausgesprochener Lenticonus posterior. Tiefe Einbuchtung (Konvexität nach innen) an der Hinterfläche der Linse!

Index 1.83 Taube. Index 2.20 Affe.



Fig. 13.



Fig. 14.

---

## Typus IV.*)

Grundform der Linse.

Grösste Annäherung an die Kugelform. Grösster ant. post. Durchmesser.

---

*) Herstellung dieser Linsenform. T. IV. Der sorgfältig ausgeschälte Bulbus wird auf dem vorderen Augenpol liegend vorsichtig mit dem Rasiermesser in der Äquatorgegend angeschnitten (es läuft etwas Glaskörperflüssigkeit aus der hinteren Bulbusfläche ab). In die Skleraöffnung wird eine Branche einer Schere eingeführt und der Bulbus im Äquator halbiert. Dann wird die hintere Bulbusfläche abgehoben und unter möglichster Erhaltung des daran sehr locker hängenden Glaskörpers beiseite gelegt. Mit der Weckerschen Schere werden unter der Lupe (Zeiss) in etwa ½ mm Entfernung vom Äquator der Linse durch den der vorderen Bulbushälfte fest anhaftenden Glaskörper vorsichtig alle seitlichen Verbindungen der Linse (Glaskörper, Zonula, Ciliarfortsätze, Iriswurzel, Lig. pectin.) mit ihrer Umgebung bis in das Corneagewebe hinein durchgeschnitten, so dass die Linse bei kleinen Erschütterungen der Skleralkapsel frei in der Hornhautwölbung und in den Resten des Kammer-

Kleinster Äquatorialdurchmesser.
Äquatorialgegend stark gewölbt.
Index 1.60 Taube.



Fig. 15.

Index 1.83 Affe.



Fig. 16.

Die zu jedem Typus der Linsenform gezeichneten schematischen Skizzen sind genau nach den photographischen Originalaufnahmen vgl. Tafel I entworfen. Ich habe diese vergrössert (Verhältnis der Originalaufnahmen zu den Vergrösserungen 1 : 23) und nach diesen Vergrösserungen von einem geschickten Drechsler die Linsenkörper in hartem Holz drehen lassen. Die Skizzen stellen dann die wieder photographisch verkleinerten Querschnitte der so gewonnenen Linsenkörper dar.

Da es sich bei der Fixierung der 4 Linsentypen um ein vollständiges Novum handelt, so ist nicht zu verwundern, wenn es nicht gelungen ist, alle von mir mit der Kohlensäure behandelten Linsen absolut tadellos darzustellen. Da aber die Linsenform der mit so ausserordentlich verschiedenen Medikamenten behandelten Bulbi jedesmal einen der unter Nr. I bis IV bezeichneten Typus ergab (wie sich meist schon nach wenigen Mikrotomschnitten zeigte), so war es möglich, die Wirkung der Medikamente auf die Bulbi genau im Querschnitt des Auges zu kontrollieren.

An die Darstellung dieser Linsenformen ging ich ohne jede Voreingenommenheit jedoch mit angespanntestem Interesse, galt es doch die Linsenformen, welche kürzlich Grossmann beim Menschen so überraschend genau schildern konnte, und welche — da allgemein angenommen wird, dass der Modus der Akkommodation nach Helmholtz in der ganzen Tierreihe, also bei Taube, Affe, sowie Mensch,

wassers sich bewegen kann. Dann wird die hintere Bulbushälfte vorsichtig wieder aufgelegt, das Ganze behutsam aufgestellt, auf die Gefrierkammer angefroren und in der oben beschriebenen Weise weiter behandelt. Es bedarf zur Gewinnung des Typus IV der allergrössten Vorsicht.

gleich verläuft — als parallel gehend zu erwarten waren. Zu meinem Bedauern war es mir nicht möglich, frische Menschenbulbi, wie s. Zt. L. Müller[40]) zum Vergleich heranzuziehen, da ich aber die Technik des Gefrierens mit Kohlensäure mit ziemlicher Sicherheit beherrsche, hoffe ich auch gelegentlich die Linsenform des Menschen meiner Untersuchung einreihen zu können. Ich habe in Tafel I die 4 Typen des Tauben- und Affenauges in den unveränderten Originalaufnahmen wiedergegeben, zwischen den beiden Bulbi sind die schematische Zeichnungen (vgl. oben) der Linsenform abgebildet.

Aus der Betrachtung dieser Bilder geht nun als Wesentlichstes hervor:

1. Dass der grössere Teil der Akkommodation nicht auf der Vorderfläche der Linse sich abspielt, sondern in Form eines deutlich ausgeprägten Lenticonus auf der Hinterfläche (übereinstimmend mit Grossmann).

2. Dass die Ruheform der Linse Typus IV zwar das Bestreben zeigt, sich der Kugelform zu nähern, dass aber die Linsenform Typus III (akkommodierte Linse) sich so wesentlich von dieser Ruheform unterscheidet, dass es unhaltbar ist zu sagen; die Linse strebe während der Akkommodation der Ruheform zu, es stelle also gewissermassen die akkommodierte Linse die Ruheform dar.

3. Die Ruheform Typus IV hat annähernd (wie Helmholtz entsprechend den physikalischen Gesetzen ausspricht) die Kugelform mit allseitig nach aussen gerichteter Konvexität der Fläche. Die akkommodierte Linse zeigt die zwischen Äquator und Lenticonus posterior unzweifelhaft an meiner grossen Versuchsreihe (38 Linsen, davon 24 akkommodierte, 14 Tonuslinsen) dargestellte Konvexität der Linsenfläche nach innen! Sie steht also in diametralem Gegensatz zu dem Bestreben der Linse, die Kugelform anzunehmen. Also: die Einbiegung an der Hinterfläche der Linse, welche nach dem Linseninnern gerichtet ist, wird mit steigender Akkommodation tiefer, so dass **die Linse mit steigender Akkommodation mehr und mehr von der von Helmholtz postulierten Kugelform sich entfernt!**

Da die Linse nun, wie nicht anders anzunehmen ist, ein mit Flüssigkeit prall angefüllter elastischer Sack ist, welcher der Kugelform zustreben muss, so folgt daraus, dass an den Stellen der Einziehung (ringförmige Zone an der Basis des Lenticonus der Hinterfläche) eine mit steigender Akkommodation steigende Kraft wirken muss, welche gegen das der Linse innewohnende Bestreben andrängt; diese Kraft kann aber nur

in dem der Hinterfläche der Linse anliegenden Glaskörpergewebe gefunden werden.

Die Linse ist an ihrer Vorderfläche an einer kreisförmigen Zone aufgehängt*) und diese Aufhängung (Zonulafasern, bei der Taube Zonulafasern + Ciliarfortsätze) muss mit steigender Bildung der nach innen gerichteten Konvexität der Linsenhinterfläche straffer werden, wenn nicht die Linse in toto nach dem vorderen Hornhautpol zurücken will. Da aber der hintere Linsenpol, wie auch neuerdings wieder für den Menschen von Grossmann festgestellt worden ist, bei steigender Akkommodation an seinem Ort im Linseninnern verbleibt (bei der Taube nur ein wenig nach vorn rückt) so folgt daraus, dass mit steigender Akkommodation auch die Spannung des vorderen Zonulabogens sich vergrössern muss. Es besteht also die alte, von Hensen und Völckers ausgesprochene Forderung zu Recht, dass es erst gelingen wird, über das Wesen der Akkommodation Aufklärung zu erhalten, wenn es möglich ist, das ruhende und akkommodierte Auge zu fixieren!

Um es nun zu erleichtern, sich ein Bild über die allmählich vor sich gehende Wölbungsveränderung der Linsenvorder- und Hinterfläche zu machen, habe ich die an den untersuchten Augen gefundenen 4 Typen der Linsenveränderungen in ein System eingetragen und zwar in folgender Weise:

Es wurde für jede Linse (ohne Rücksicht auf die Grösse des Tieres) das Verhältnis des äquatorialen Durchmessers zur Linsenachse berechnet. Rabl bezeichnet die so berechneten Grössen als „Index“, sie geben die (nur scheinbare) Annäherung der Linse an die Kugelform an. Da die Linsen von verschieden grossen Tieren stammen, die Beschaffung völlig gleichwertigen Untersuchungsmaterials aber wohl unmöglich für die erforderliche Untersuchungsreihe ist, halte ich es für nicht gestattet, direkt die verschiedenen gefundenen Durchmesser der Linsen miteinander zu vergleichen. Aus der Berechnung der Indices aber ist es möglich ohne Rücksicht auf individuelle Grössenschwankungen der Tiere und deshalb der Linsen, sich eine Vorstellung zu bilden. So ergeben sich für die Taube**):

---

*) Die Zonulafasern, welche hinter dem Äquator an der Linsenkapsel ansetzen, sind bei der Taube so ausserordentlich spärlich, dass sie für die Akkommodation nicht in Frage kommen, sie würden auch durch die Verkürzung des äquatorialen Durchmessers während der Akkommodation entspannt werden.

**) Ist gemessen nach den photographisch vergrösserten Durchschnitten der Bulbi auf Tafel I.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Taube: Typus | IV | Index | 1,60 |
| „ | III | „ | 1,83 |
| „ | II | „ | 1,93 |
| „ | I | „ | 2,10 |
| Macacus: Typus | IV | Index | 1,83 |
| „ | III | „ | 2,20 |
| „ | II | „ | 2,28 |
| „ | I | „ | 2,52 |

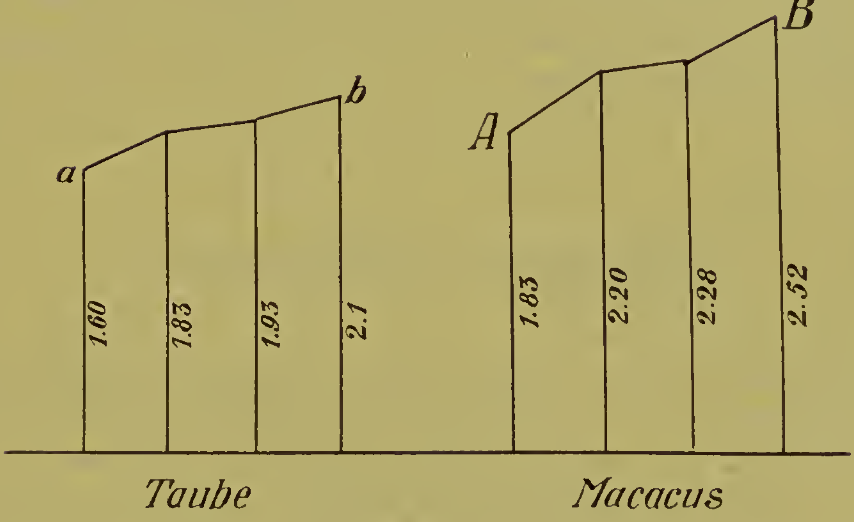



Fig. 17.

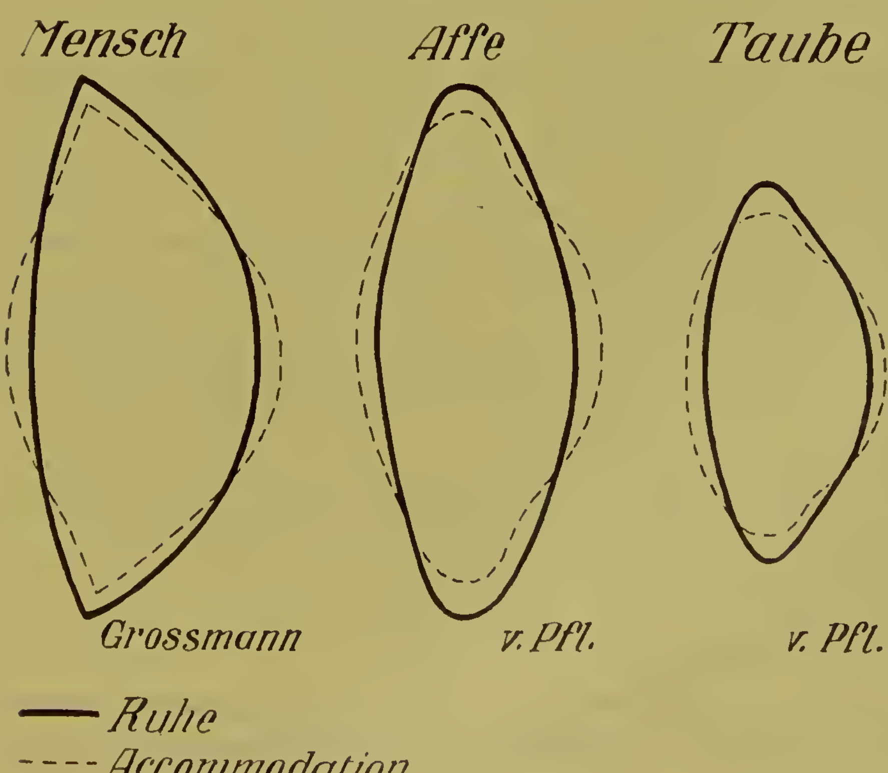



Fig. 18.

Aus der verschiedenen Steilheit der Linien a, b und A, B geht hervor, dass die Formveränderungen der Linse der Taube bei der Akkommodation wesentlich geringer sind, als die des Macacus, es wird dadurch gewissermassen eine graphische Darstellung der Höhe der Akkommodationsleistungen der Linse dieser Tiere gegeben.

Die von mir durch die angewendete Kältefixierung gefundenen Linsenformen des Macacus bestätigen und ergänzen in hervorragender Weise die kürzlich von Grossmann beim Menschen gefundenen Formen der Veränderung der Vorder- und Hinterfläche der Linse, indem sie die Bildung eines Lenticonus anterior und Lenticonus posterior bei der Akkommodation zeigen.

## Physiologie der Akkommodation.

Nachdem wir nun einen Überblick über den anatomischen Bau des Auges und über die bei der Akkommodation vor sich gehenden Formveränderungen besitzen, will ich versuchen auf Grund der mit meiner Fixierungsmethode erhaltenen Resultate und unter Vergleichung der von anderer Seite auf Grund unzweifelhafter Tatsachen gewonnenen Erfahrung, den Vorgang der Akkommodation darzustellen. Vorausschicken möchte ich noch, dass die Akkommodation keinesfalls wesentlich durch Änderungen des hydrostatischen Druckes beeinflusst werden kann, denn Beer hat zuerst beim Affen (kürzlich Heine[44]) auch für den Menschen) nachgewiesen, dass Akkommodation auch bei eröffneter Sklerakapsel stattfindet. Auch Abtragung der Cornea, also Aufhebung des Druckes des Kammerwassers hebt die Akkommodation des Vogelauges nicht völlig auf, wie Beer[38]) p. 226 gezeigt hat, es ist also notwendig, die Formveränderungen, die sich im Auge während der Akkommodation abspielen, in der Hauptsache auf mechanische Kräftewirkung zurückzuführen.

Die akkommodativen Veränderungen des Taubenauges bestehen aus zwei Teilen:

a) den Veränderungen (Abflachung) der Krümmung der Hornhautperipherie;

b) den Veränderungen der Linsenform.

Beide sind von verschiedenen Seiten völlig einwandfrei festgestellt worden; nur über ihre Entstehung gehen die Meinungen der Autoren

noch auseinander, so wie über die Grösse des Einflusses der einzelnen Teile auf die Akkommodationsbreite der Taube (was aber hier nicht berücksichtigt zu werden braucht).

Über die Ursache der Abnahme der Hornhautwölbung in den peripheren Partien bestehen wohl jetzt keine Differenzen der Anschauungen mehr. Nachdem sie einmal einwandfrei*) nachgewiesen waren, lag ihre Erklärung durch Zug des Cramptonschen (und Müllerschen) Muskels an der hinteren Hornhautlamelle auf der Hand. Die den Cramptonschen Muskel bildenden Muskelfasern inserieren, wie wir oben gesehen haben, einesteils am Hornhautsporn, der inneren Hornhautlamelle, anderenteils an dem versteiften Verbindungsteil zwischen Cornea und Sklera. Die Fasern des Müllerschen Muskels inserieren gleichfalls am Hornhautsporn, endigen aber an dem mächtigen elastischen Fasergewebe, welches von den Ciliarfortsätzen nach der Aderhaut zu sich verjüngt. Die dritte Brückesche Portion des Muskelsystems an der Sklera (der Tensor chorioideae) aber muss entsprechend seinem Faserverlauf vom Verbindungsstück nach dem oben benannten elastischen Faserbündel die Aderhaut spannen, bezw. vorwärts ziehen. Unter Berücksichtigung nur dieser drei Muskelgruppen würden wir also erklären können:

a) Abflachung der Cornea in ihren peripheren Teilen.

b) Vorrücken der Aderhaut und im Zusammenhang damit des ganzen Linsensystems mit seinem Aufhängeapparat.

Wie aber soll die Bildung des Lenticonus an der Hinterfläche der Linse erklärt werden, wenn man nur dieses eine Muskelsystem als Triebfeder für die Akkommodationsveränderungen bei der Taube annimmt?!

Die von mir an der grossen Reihe gefrorener Bulbi nachgewiesenen Veränderungen der Hinterfläche der Linse während der Akkommmodation des Taubenauges, erfordern mit logischer Notwendigkeit eine Kraft, welche die Linse gegen den anströmenden Glaskörper zurückhält.

Den Mechanismus der Akkommodation der Taube hat man sich vergleichsweise folgendermassen vorzustellen: Auf die Vorderfläche eines eiförmigen Körpers (innere Schale), welcher mit festweichem Inhalt prall gefüllt ist und der sich (durch die Kontraktion des Tensor chor.) in einer gewissen Spannung (Tonus) befindet, wird ein kleiner Ring**) gepresst, so dass die unter dem Ring liegende Hülle

*) Vgl. oben Seite 23.

**) Vgl. oben Seite 14 „elastischer Faserring".

(Zonulafasern) eingedrückt und zugleich straffer gespannt werden muss. Mit steigendem Druck des Ringes wölbt sich die durch ihn abgegrenzte kreisförmige Fläche stärker vor. Da der elastische Ring aber eine direkte Fortsetzung des Aderhautgewebes bildet, so muss er, während der Kontraktion des Müllerschen Muskels und des Brückeschen Tensor chor. mit vorwärts gezogen werden — wenn er nicht von einer in ihm wohnenden Kraft gegen den Glaskörper gedrückt würde. Diese Kraft kann nur von dem schon von Heinrich Müller als eigentlichen Akkommodationsmuskel des Vogelauges erklärten Ringfasersystem in der Iriswurzel gebildet werden. Wenn Beer, entgegen dieser Behauptung, durch Abtragen der Iris mit der Schere die Akkommodationsbreite des Vogelauges unverändert fand, Cramer dagegen durch Anlegung einer Iridektomie sofort die Akkommodation sistierte, so hat Beer wohl die Sphinkterfasern der Iris abgetragen, den Müllerschen Ringmuskel, der sich bis tief in die Iriswurzel hinein erstreckt, aber unverletzt gelassen. Cramer aber brauchte nur ein kleines Bündelchen der elastischen Fasern (welche, wie wir oben gesehen haben, vom Hornhautsporn durch das Lig. pectin. bis in die der Vorderfläche der Linse aufliegenden Ciliarfortsätze hinein sich erstrecken) zu fassen und bei der Iridektomie herauszureissen, so hob er die Kontinuität des Ringfasersystems auf und der ganze Muskel an der Iriswurzel war nichts weiter, als etwa ein durchschnittenes kreisförmiges Gummiband, das keinerlei Schliesswirkung mehr zeigt.

Dass die Verhältnisse wirklich derartige sind, haben mir zwei operierte Taubenaugen gezeigt, an dem einen war die Iris nach Beer mit der Weckerschen Schere abgetragen, an dem zweiten aber, eine Iridektomie ausgeführt. Bei der mikroskopischen Betrachtung zeigte sich beim ersten Auge die Ringmuskelschicht an der Iriswurzel wohl erhalten, beim zweiten Auge war ein Stück des Muskelringes und ein Teil des Lig. pectin. ausgerissen.

## Die Akkommodation des Taubenauges.

Bei Akkommodationsruhe sehen wir die Linse wie ein Diaphragma zwischen Vorderkammer und Glaskörper ausgespannt, infolge ihrer Aufhängung an der Vorderfläche wird sie durch den Druck des Glaskörpergewebes in flacher Form erhalten.

Bei Akkommodation zieht:

1. der Cramptonsche und Müllersche Muskel die peripheren Teile der Hornhaut (innere Lamelle) nach hinten, so dass die Hornhautperipherie abgeplattet werden muss. (Pfeilrichtung bei a; vgl. dazu auch Tafel III Fig. 5.)

2. Der Müllersche mit dem Brückeschen Muskel zieht die Aderhaut mit ihrem Inhalt (die innere Kugel) nach dem Hornhautrand zu (Pfeilrichtung bei b), dadurch will das ganze Linsensystem getragen von dem Glaskörper nach dem vorderen Hornhautpol zu vorrücken.

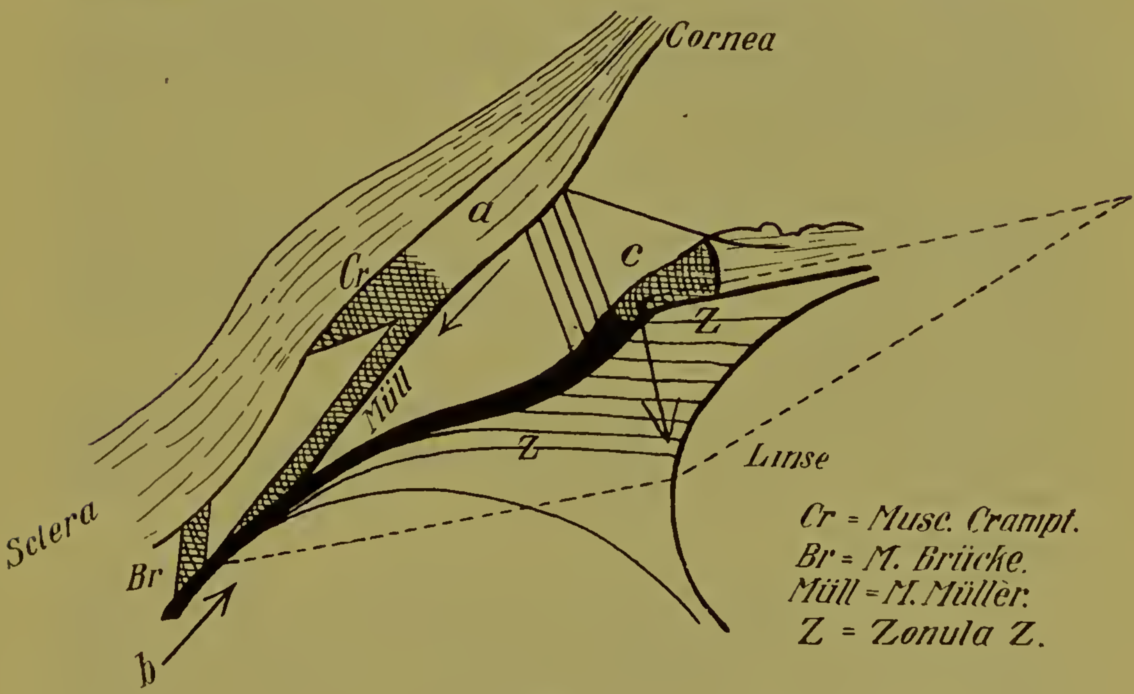



Fig. 19.

So würde (in Analogie der Akkommodation des Amphibienauges) das schwach hypermetropisch gebaute Auge der Taube durch Entfernung des Linsenabstandes von der Netzhaut myopisch, die Akkommodation für die Nähe unterstützt werden.

3. Der an der Iriswurzel gelegene kreisförmige Ringmuskel bei c müsste eigentlich in der Richtung der Irisebene wirken, da er aber infolge seiner Aufhängung an dem elastischen Band von der Aderhaut her festgehalten wird, muss er dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte folgend, bei seiner Kontraktion auf seine Unterlage in der Pfeilrichtung drücken; er spannt die Aufhängebänder der Linse Zonula und Ciliarfortsätze und schiebt den durch die Wirkung der

Muskeln bei b herangewälzten Glaskörper nach der Hinterfläche der Linse zu (Tscherning), so dass die Linse, welche in den Vorderkammerraum hineinragt, durch den „elastischen Faserring" durchzutreten im Begriff ist und die an ihrem Äquator festsitzenden Ciliarfortsätze mitnimmt; vgl. zu der Zugrichtung dieses Muskels den Pfeil in der Figur 5 Tafel III.

4. Das Ligamentum pectinatum, welches anfänglich einen mit der Irisebene nach vorn offenen Winkel bildet, nähert sich durch das Zurücktreten des Punktes a und das Vorrücken des Punktes c der Richtung der Irisebene und erhöht dadurch indirekt die Druckwirkung des Muskels c auf seine Unterlagen in der Pfeilrichtung bei c. Das Vorrücken des Punktes c bedeutet zugleich auch mit der Verschiebung der Faserrichtung des Lig. pectin. eine Abnahme des Durchmessers des elastischen Ringes*).

5. Infolge des Druckes des Glaskörpergewebes weichen die äquatorialen Randpartien ,der Linsenmasse (begünstigt durch den Recessus zwischen Ringwulst und Linsenkern) nach der Vorderkammer zu aus und der Linsenkern springt als präformierter Lenticonus posterior in das Glaskörpergewebe vor.

6. Durch die Abflachung der Hornhautperipherie unterstützt das nach dem Fontanaschen Raum drängende Kammerwasser die Wirkung des Muskels bei c, spannt das Lig. pectin. und hilft den Glaskörperdruck steigern**).

Wenn Hess und Heine[45]) bei ihren Untersuchungen über den Augendruck während der Akkommodation der Taube Druckschwankungen nicht nachweisen konnten, so ist daraus nicht ohne weiteres zu folgern, dass Druckschwankungen während des Ansteigens der Akkommodation nicht vorhanden sind, denn erstens können die Druckschwankungen so gering sein, dass sie unter der durch unsere Untersuchungsmethoden nachweisbaren Schwelle liegen und zweitens können sie durch die im Vogelauge reichlich vorhandenen Druckregulierungsvorrichtungen (Pecten, Ciliarfortsätze u. a. in Übereinstimmung mit Rabl) sofort kompensiert werden.

---

*) Vergleiche dazu auch die beiden Bilder des akkommodierten und ruhenden Auges bei Heine[29]) Tafel 23.

**) Mit dieser Auffassung des Kammerwasserdruckes steht die Beersche Beobachtung im Einklang, dass er nach Abtragung der Hornhaut bei elektrischer Reizung die akkommodative Formveränderung der Taubenlinse wesentlich geringer fand, als bei erhaltener Bulbuskapsel.

Infolge der von mehreren Seiten sich ergänzenden Kräftewirkung zur Erreichung der akkommodativen Formveränderung des Taubenauges wird bewirkt:

a) dass die Akkommodation eine ausserordentlich fein abgestufte ist,

b) dass sie für jeden einzelnen der zusammenwirkenden Faktoren nur einen ganz geringen Kräfteaufwand erfordert und

c) dass die infolge der überwiegenden quergestreiften Muskulatur im Augeninnern der Taube schnellen An- und Abschwellungen der Wirkung der Muskelkontraktionen nicht von deletärer Wirkung für den Augeninhalt sind.

Es besteht somit die alte von Cramer (1853) ursprünglich ausgesprochene Vermutung, dass der Muskel an der Iriswurzel einen Druck auf den Aufhängeapparat der Linse (Ciliarfortsätze und Zonulafasern) ausübt und dass auf diese Weise durch Anspannung der Zonula die akkommodative Formveränderung der Linse erzeugt wird.

Da aber Cramer diese nach ihm benannte Theorie mit zwei Irrtümern verquickt, indem er dem M. Cramptonianus dieselbe Wirkung zuschreibt, wie dem Brückeschen Tensor chor. und zweitens den Druck des Muskels auf die Iriswurzel und dadurch direkt auf die Äquatorgegend der Linse wirken lässt; und da wir oben gesehen haben, dass mit steigender Akkommodation der Äquator sich von der eigentlichen Druckstelle dieses Muskels mehr und mehr entfernt, kann man ihn nur als einen Vorläufer Schoens auffassen:

Das Prinzip der Akkommodation (des Menschen, wie wir gesehen haben, ist der Satz auch auf das Vogelauge giltig) besteht also in Anspannung der Zonula bei der Akkommodation und zwar in folgender Form: **„Die Zusammenziehung der Zirkulärfasern *) drückt die Ciliarfortsätze gegen die Umgrenzung der Kugel (die Zonula) und lässt die freie Partie: die Vorderfläche der Linse vorspringen“.**

W. Schoen [19]) p. 5.

Es ist besonders in den letzten Jahren ein ganz hervorragendes Gewicht zur Beurteilung der menschlichen Akkommodation auf ein Symptom gelegt worden, das allgemein als „Linsenschlottern“ bezeichnet wird. Dieses Linsenschlottern während der Akkommodation charakterisiert Hess wie folgt [14]) p. 208: „Bei kleinen zuckenden Bewegungen des Auges schlottert die Linse deutlich hin und her. Ist das Auge

*) Bei der Taube der Ringmuskelschicht an der Iriswurzel.

aber unbewegt, so sieht man auch bei maximaler Akkommodationsanstrengung kein Linsenschlottern"; hauptsächlich auf diese Linsenbewegung stützt jetzt Hess seinen Standpunkt der Verteidigung der Helmholtzschen Theorie beim Menschen. Ich werde in meiner demnächst erscheinenden Abhandlung „Über die Akkommodation des Menschen- und Affenauges" auf diese Erscheinung näher eingehen und an einem Modell das Entstehen des Linsenschlotterns im Sinne der von mir vertretenen Auffassung der Akkommodation erläutern.

---

## Zusammenfassung der Resultate.

1. Es ist möglich durch schnelle Einwirkung hoher Kältegrade (flüssige Kohlensäure) das ruhende und akkommodierte Auge zu fixieren.

2. Aus der Formveränderung der während Akkommodationsruhe (Curare, Atropin) und Akkommodationskrampf (Strophantin, Eserin) fixierten Linse lassen sich unter Berücksichtigung der während des Lebens beobachteten Formveränderungen und der anatomischen und physiologischen Verhältnisse sichere Schlüsse auf den Akkommodationsmechanismus ziehen.

3. Da die Eigenform der Linse sich nach physikalischen Gesetzen der Kugelform nähern muss, die akkommodierte Linse aber durch Bildung einer nach dem Linseninnern zu gerichteten Konvexität der Hinterfläche mit steigender Akkommodation von der Kugelform mehr und mehr sich entfernt, ist es unstatthaft zu sagen, die akkommodierte Form drücke das Bestreben der Linse aus, sich der Kugelform zu nähern.

4. Die Akkommodation der Taube setzt sich aus zwei Teilen zusammen: aus der Hornhautakkommodation und der Linsenakkommodation. Durch das Vorrücken des Linsensystems (Vergrösserung des Abstandes der Linse von der Netzhaut) muss das schwach hypermetropische Auge der Taube während der Akkommodation vorübergehend emmetropisch oder sogar myopisch werden.

5. Die Hornhautakkommodation (Abflachung der Hornhautperipherie) kommt durch den Zug des Cramptonschen und Müllerschen Muskels an der inneren Hornhautlamelle zustande.

6. Die Linsenakkommodation geschieht durch den an der Iriswurzel gelegenen (schon von Heinrich Müller als eigentlichen

Akkommodationsmuskel des Vogelauges aufgefassten) Ringmuskel, welcher durch seine Kontraktion auf Zonula und Ciliarkörper einen Druck ausübt. Dadurch werden diese, die Aufhängebänder der Linse gespannt und nach der Mitte des Augapfels zu gedrückt. Der auf das Glaskörpergewebe ausgeübte Druck schiebt infolge der Aufhängung der Linse an ihrer Vorderfläche die Rindenmassen der Äquatorgegend nach dem vorderen Linsenpol zu, und lässt den Linsenkern vorspringen (Lenticonus posterior).

7. Der Dilatator iridis der Taube wird dargestellt durch die flache Lage stark pigmentierter Zellen zwischen Epithel der Hinterfläche der Iris und Irisstroma, welche der Bruchschen Membran des Säugetierauges entspricht (Epithelmuskelzellen Szili jun.)[46]).

8. Das Ligamentum pectinatum der Vögel, das während des Lebens niemals erschlafft ist, besteht im Gegensatz zu dem Lig. pectin. der Säugetiere aus starken Bündeln elastischer Fasern.

---

Ich möchte diese Arbeit nicht abschliessen, bevor ich nicht Herrn Geh. Rat Prof. Dr. Ellenberger für seine gütige Erlaubnis von den Einrichtungen des physiologischen Instituts der tierärztlichen Hochschule weitgehendsten Gebrauch zu machen, meinen verbindlichsten Dank ausgesprochen habe. Ganz besonders bin ich auch Herrn Privatdozent Dr. Zietzschmann für seine unermüdliche Förderung meiner Arbeit sowohl bei der Ausführung der physiologischen Versuche, als bei den histologischen Arbeiten und der Beschaffung der Literatur zu aufrichtigem herzlichstem Dank verpflichtet.

# Literatur-Verzeichnis.


1. Hensen und Voelckers, Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Akkommodation. 1868.
2. Michaelis, Albrecht von Graefe. Sein Leben und Wirken. 1877.
3. Graefe, A. v., Archiv f. Ophthalmologie. Bd. I. 1854.
4. Langenbeck, Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Chirurgie und Ophthalmologie. 1849.
5. Cramer, Tydschrift der Maatschappy vor Geneeskunde. 1851.
6. Joung, On the mechanism of the eye. 1801.
7. Helmholtz, Über die Akkommodation des Auges. Graefes Archiv I. 1855.
8. — Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl. 1896.
9. Müller, H., Anatomische Beiträge zur Ophthalmologie. Graefes Archiv. Bd. III. 1857.
10. Coccius, Der Mechanismus der Akkommodation des menschlichen Auges. 1869.
11. Mannhardt, Bemerkungen über den Akkommodationsmuskel und die Akkommodation. Graefes Archiv. Bd. IV. 1858.
12. Donders, Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges. Deutsche Originalausgabe Wien. 1866.
13. Schoen, Zur Ätiologie des Glaukoms. Graefes Archiv. Bd. XXXI. 1885.
14. Hess, Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges. Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 2. Aufl. VIII. Bd. 1903.
15. Exner, Über die Funktion des Musc. Cramptonianus. LXXXV. Bd. d. Sitz.-Ber. d. kgl. Akademie der Wissenschaften zu Wien. 3. Abt. 1882.
16. Beer, Eine Reihe von Aufsätzen über Akkommodation in Pflügers Archiv zusammengefasst in „Die Akkommodation in der Tierreihe." Wiener klinische Wochenschr. Nr. 42. 1898.
17. Rabl, Über den Bau und die Entwickelung der Linse (3 Teile). Zeitschr. f. wissenschaftl. Zoologie. 1898 u. 1899.
18. Schoen, Die Funktionskrankheiten des Auges. 1893.
19. — L'accommodation dans l'oeil humain. Archive d'ophtalmol. Févr. 1901.

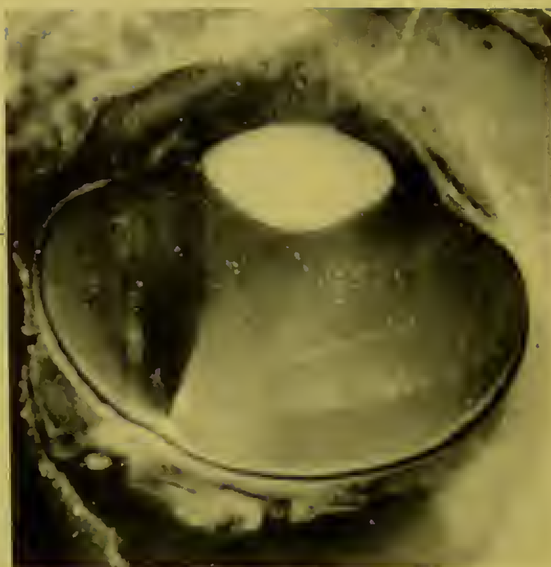
20. Tscheruing, Optique physiologique. 1898.
21. — Dioptrique oculaire. Encycl. franç. d'ophtalm. T. III. 1904.
22. Leuckart, Organologie des Auges. Vergleichende Anatomie. Graefe-Saemisch Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 1. Aufl. II. Bd. 1876.
23. Ritter, Über den Ringwulst der Vogellinse. Arch. f. Augenheilk. XLI. 1900.
24. Koelliker-v. Ebner, Handbuch der Gewebelehre des Menschen. 1902.
25. Retzius, Über den Bau des Glaskörpers und der Zonula Zinnii in dem Auge des Menschen und einiger Tiere. Zitiert nach Nagels Jahresbericht. 1894.
26. Salzmann, Die Zonula ciliaris und ihr Verhältnis zur Umgebung. 1900.
27. Leber, Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Graefe-Saemisch Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 2. Aufl. II. Bd. 1903.
28. Canfield, Über den Bau der Vogeliris. Diss. Berlin. 1886.
29. Heine, Physiologisch-anatomische Untersuchungen über die Akkommodation des Vogelauges. Graefes Archiv. Bd. XLV. 1898.
30. Durant, Disposition et développement des muscles dans l'iris des oiseaux. Journal d'anatomie. 29. Jahrg. 1893.
31. Michel, Die histologische Struktur der Iris. Universitätsprogramm Erlangen. 1875.
32. — Iris und Iritis. Graefes Archiv. Bd. XXVII. 1881.
33. Koganei, Archiv f. mikroskopische Anatomie. 1885.
34. Münch, Zur Anatomie des Dilatator pupillae. Zeitschr. f. Augenheilkunde. Bd. XIII. 1905.
35. Grünhagen, Über die hintere Bewegungsschicht der menschlichen Iris. Arch. f. mikrosk. Anatomie. Bd. IX. 1873.
36. Landolt, Die Untersuchungsmethoden. Graefe-Saemisch Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 2. Aufl. 1904.
37. Grossmann, The mechanism of the accommodation in man. The ophthalmic Review. 1904.
38. Beer, Studien über die Akkommodation des Vogelauges. Pflügers Archiv. Bd. LII. 1893.
39. Weber, C., Nonnullae disquisitiones, quae ad facultatem oculum rebus propinquis adcommodandi spectant. Marburg. (Zitiert nach Hensen und Voelckers p. 55.)
40. Müller, L., Über Entfärbung des Pigments in mikroskopischen Schnitten und eine neue Uutersuchungsmethode des akkommodierten und uicht akkommodierten Auges. Wiener klin. Wochenschr. 1895.
41. Arnold, I., Die Linse und das Strahlenplättchen. Graefe-Saemisch Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 1. Aufl. Bd. I. p. 288. 1874.
42. v. Michel, Über den Einfluss der Kälte auf die brechenden Medien des Auges. Festschrift für A. Fick. 1899.
43. Meyer, H., Über einige pharmakologischen Reaktionen der Vogel- und Reptilieniris. Arch. f. experiment. Path. u. Pharmak. Bd. XXXII. 1893.
44. Heine, Ein Versuch über Akkommodation und intraokularen Druck am überlebenden Kinderauge. Graefes Arch. Bd. LX. 1905.

45. Hess und Heine, Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodationslehre. IV. Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss der Akkommodation auf den intraokularen Druck, nebst Beiträgen zur Kenntnis der Akkommodation bei Säugetieren. Graefes Archiv. Bd. XLVI. 1898.

46. Szili, jun., Beitrag zur Kenntnis der Anatomie und Entwickelungsgeschichte der hinteren Irisschichten mit besonderer Berücksichtigung des Musculus sphincter pupillae des Menschen. Graefes Archiv. Bd. LIII. 1902.

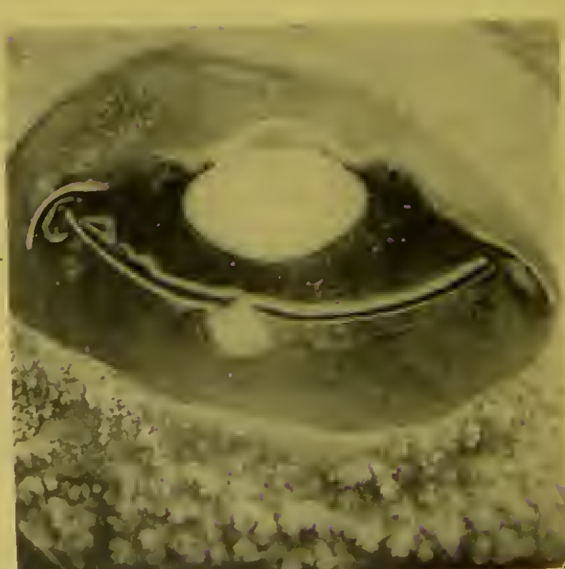
47. Melkich, Zur Kenntnis des Ciliarkörpers und der Iris bei Vögeln. Anatomischer Anzeiger X. Bd. 1895, p. 28 ff.

Akkommo-
dation
(Stroph.)





Grund-
form

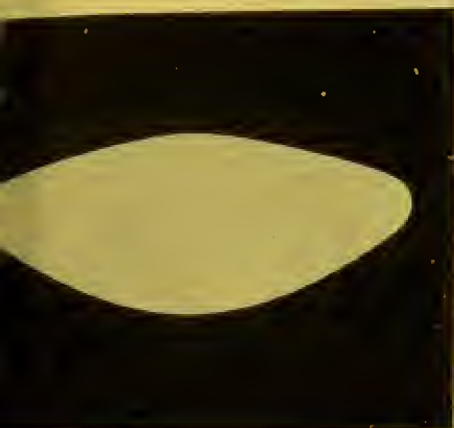


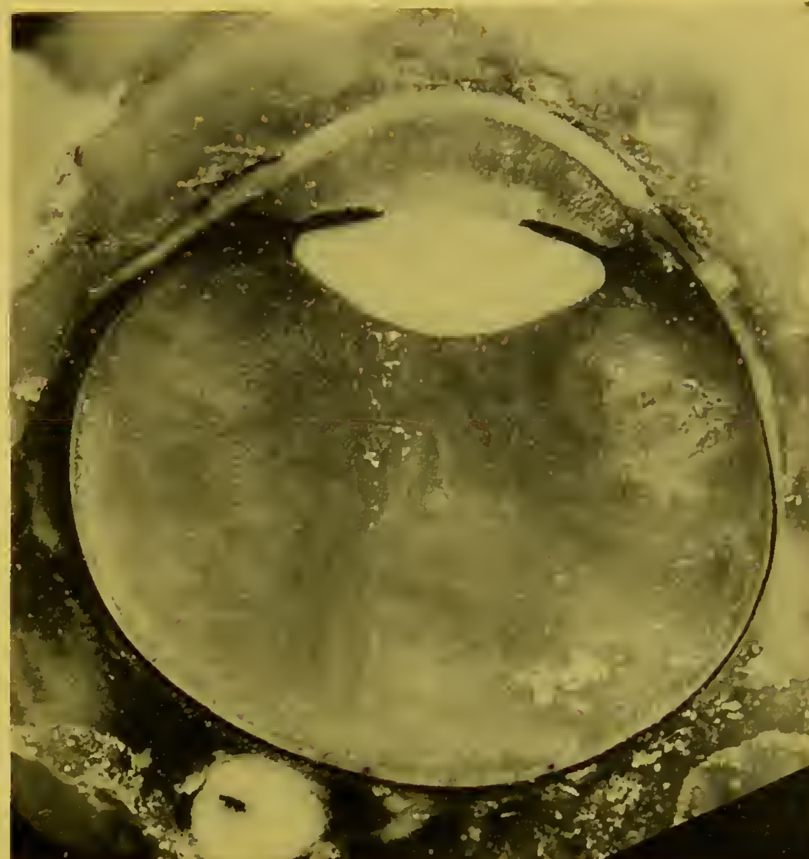


Schema der Linse der Taube.

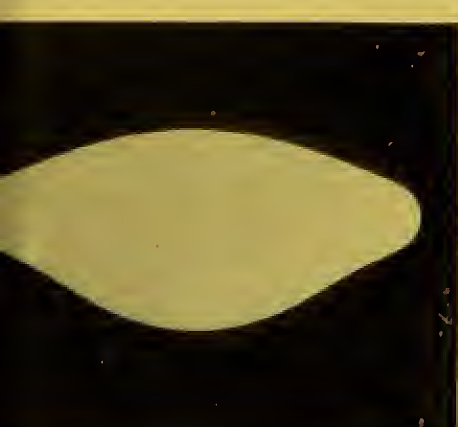
# Taube.

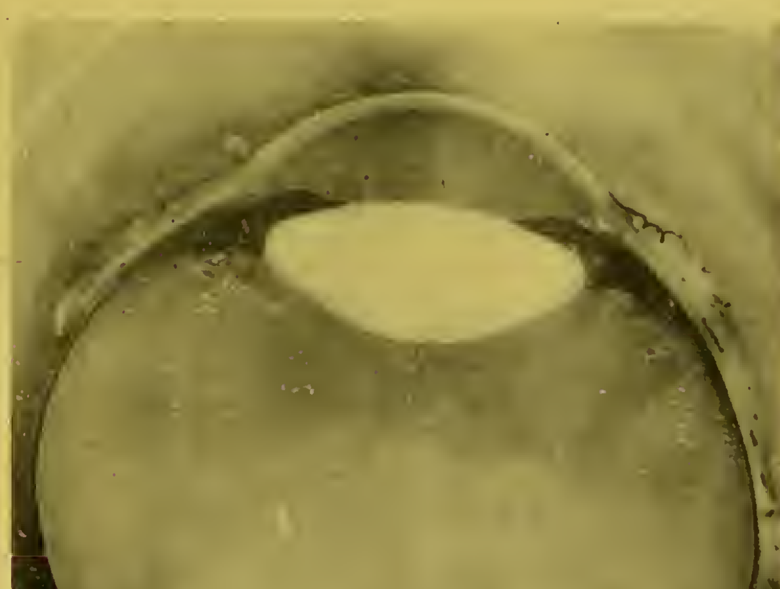
Affe.





Atropin





Tonus

# Taube.

Muskel-
ruhe
(Curare)





Typu

Tonus





Typ





Eserin





Grund-
form

Schema der Linse des Affen.

**Affe.**

# Tafelerklärung.

## Tafel II.

C Cornea.
Conj. Conjunctiva.
Gl Glaskörper.
I Iris.
L Linse.
L P Lig. pectinat.
M N Müllerscher Muskel.
Scl Sclera.

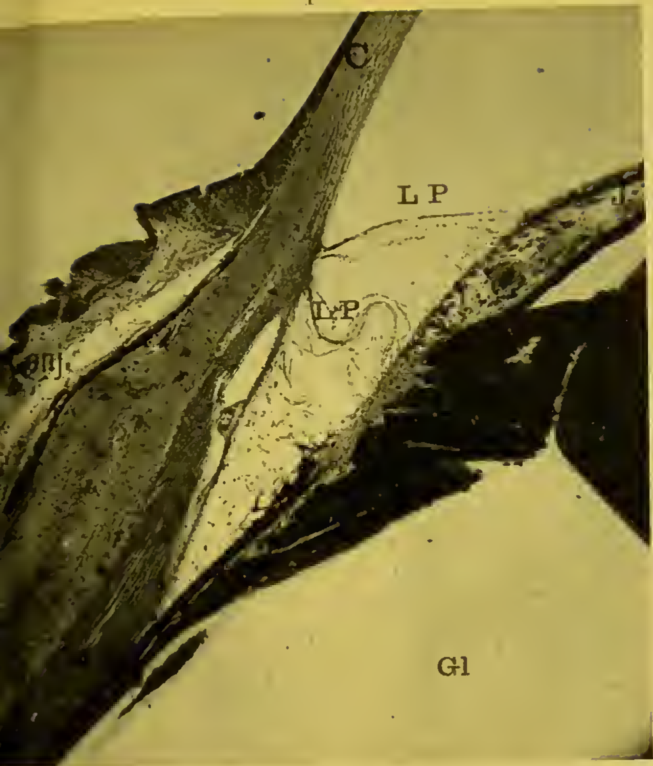
Fig. 1. Übersicht. Taube normal, Formalin, Celloidin. Hämat.-Eosin. Zeiss A A, Ok. 1.

Fig. 2. Übersicht über das elastische Gewebe (rot). Taube normal, Formalin, Celloidin. Weigertsche Färbung elast. Fasern. Vergrösserung wie Fig. 1.

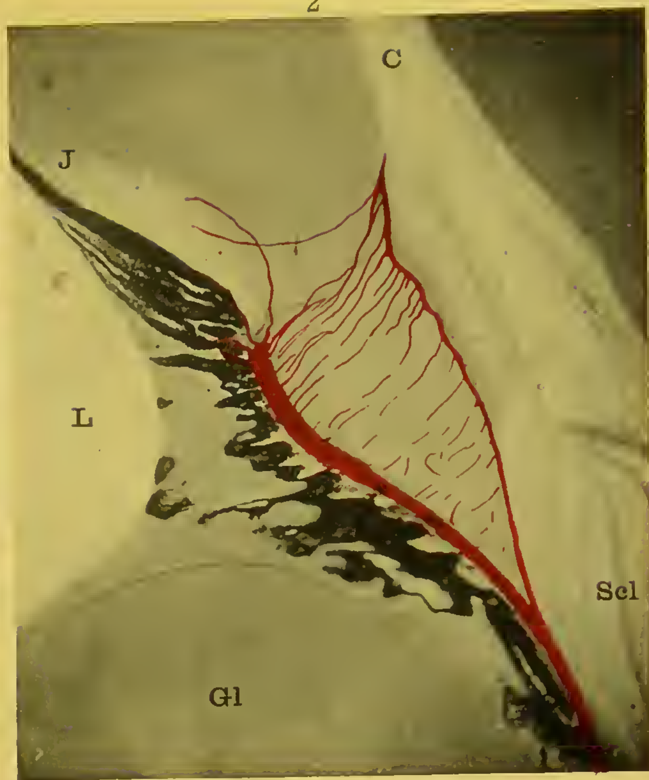
Fig. 3. Taube normal, Formalin, Celloidin. Depigmentiert (Kal. permangan. und Oxalsäure). Weigertsche Färbung, elast. Fasern. Zeiss DD, Ok. 1. Die vorderen stärksten Bündel des Lig. pectin. L. P. durchkreuzen den von der Aderhaut kommenden elastischen Faserzug E F und strahlen in das Innere der Ciliarfortsätze C F. Die Zonulafasern Z entstammen dem Epithel der Ciliarfortsätze.

Fig. 4. Übersicht über die Irismuskulatur, Radiärschnitt. Taube normal, Formalin, Paraffin. Hämatox., Eosin. Zeiss A A, Ok. 2.

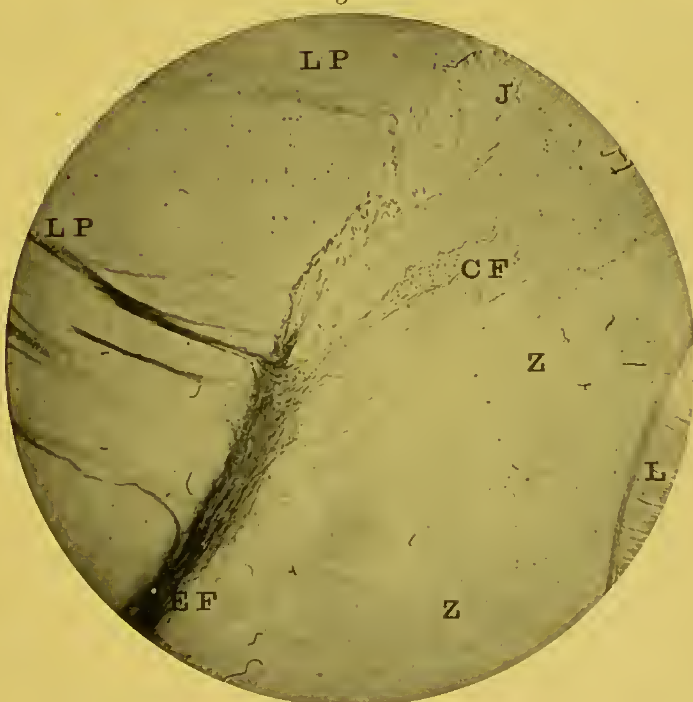
1


C
L P
J
L P
onj.
Gl

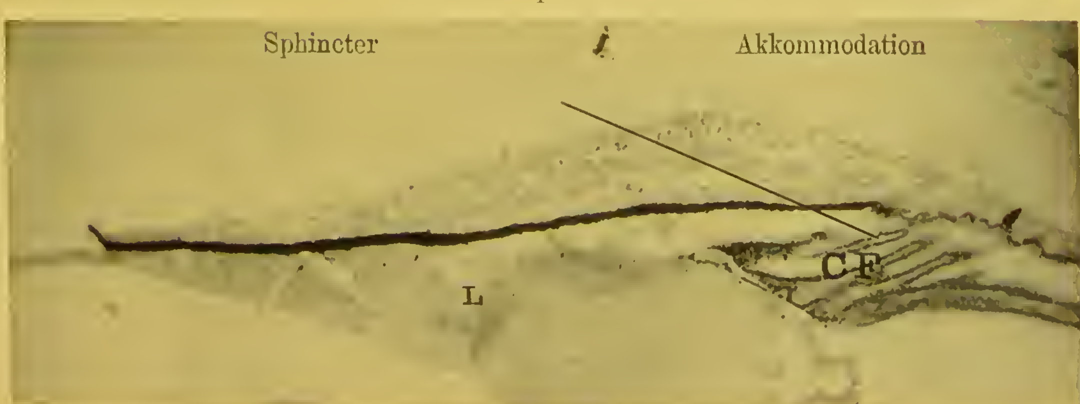
2


C
J
L
Scl
Gl

3


L P
J
L P
C F
Z
L
E F
Z

4


Sphincter
Akkommodation
CF
L

# Tafelerklärung.

## Tafel III.

Fig. 1. Schnitt durch die Iriswurzel, Taube normal, Formalin, Celloidin. Hämat., Eosin. Zeiss DD, Ok. 1.

A M Akkommodationsmuskel.
C F Ciliarfortsätze.
C I M Circulus Iridis maior.
I Iris.
I W Iriswurzel.
L P Ligamentum pectinat.

Die Punkte bei A M sind die quergeschnittenen Muskelfibrillen, sie beginnen genau vor dem Eintreffen der stärksten Bündel des Lig. pectin. an der Iriswurzel.

Fig. 2. Akkommodationsmuskel. Flachschnitt. Strophantin. Taube, Formalin, Celloidin. Hämatox., Eosin. Zeiss $^1/_{12}$ homog. Immers. Ok. 2.

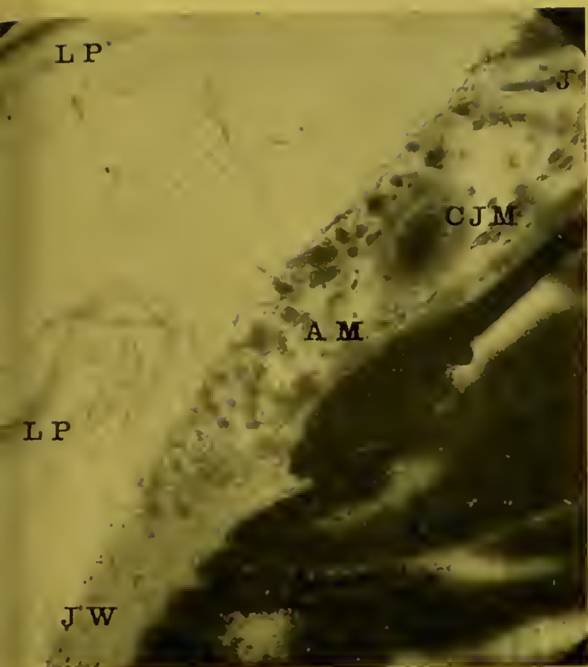
Fig. 3. Schrägschnitt durch die Iris. Taube normal, Formalin, Celloidin Hämatox., Eosin. Zeiss DD, Ok. 1.

I. Gefässschicht.
II. Muskelfibrillen des Sphincter pupillae.
III. Dilatatorschicht, stark pigmentiert.
IV. Kubisches Epithel der Hinterfläche der Iris.

Fig. 4. Muskelruhe, Vergrösserung der Originalaufnahme des gefrorenen Curarebulbus. Der eingezeichnete Strich zeigt die Richtuug der Zonulafasern. Linsenäquator spitz. Der von Cornea und Sklera gebildete Winkel etwa 130°. Fontana scher Raum flach.

Fig. 5. Muskelkrampf. Vergrösserung der Originalaufnahme des gefrorenen Strophantinbulbus. Der Strich zeigt die Richtung der Zonulafasern. ↓ deutet die Druckstelle des Akkommodationsmuskels an. Linsenäquator stark gewölbt, Konvexität an der Hinterfläche der Linse nach dem Linseninneren zu! Fontana scher Raum sehr tief. Der von Cornea und Sklera gebildete Winkel — etwa 170°! (Abflachung der Hornhautperipherie durch den Zug des Musc. crampt. an der inneren Hornhautlamelle).

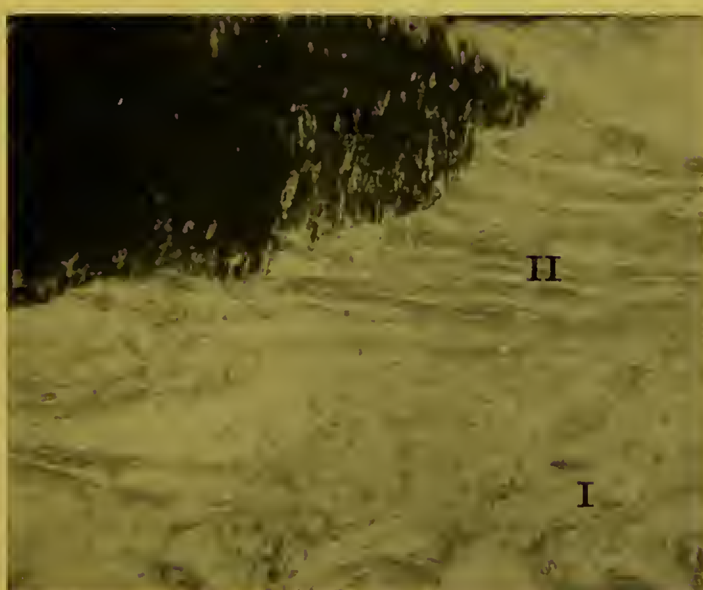
1



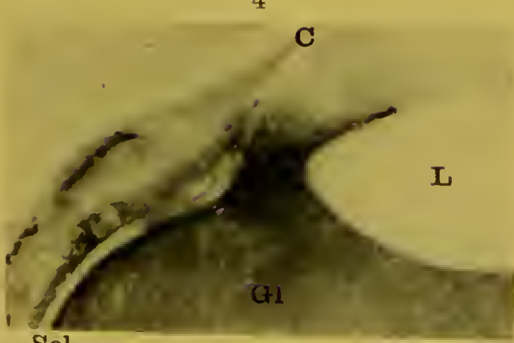

2



3

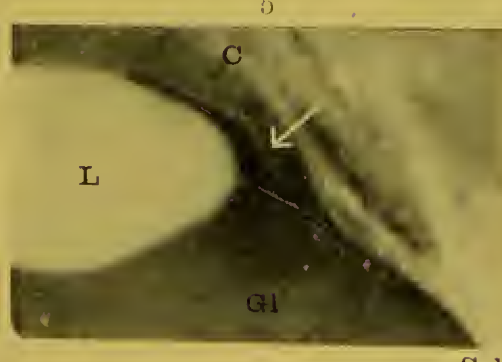



4




Ruhe
(Curare)

5




Akkommodation
(Strophantin)

LICHTDRUCK VON RÖMMLER & JONAS, DRESDEN.